Phyt.

534 nc

Pringsheim

Aach. 694

Ueber

Lichtwirkung und Chlorophyllfunction in der Pflanze.

Von

N. Pringsheim.

Hierzu Tafel XI—XXVI.

(Separat-Abdruck aus Pringsheim's Jahrbüchern für wissenschaftliche Botanik. Band XII.)

Berlin.

Druck von G. Bernstein.

1881.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

Inhalt

Seite

N. Pringsheim, Ueber Lichtwirkung und Chlorophyllfunction in der Pflanze, mit Tafel XI—XXVI 288

I. Bau und Zusammensetzung der Chlorophyllkörper 289

II. Ueber eine Methode microscopischer Photochemie 314

III. Lichtwirkung, Lichtstarre, Lichttod 326

A. Allgemeine Orientirung über die Erscheinungen intensiver Lichtwirkung in der Pflanzenzelle 326

B. Die Bedingungen der Lichtwirkung in der Pflanzenzelle . 336

C. Die im intensiven Licht verbrennlichen, und die in demselben unverbrennlichen Bestandtheile der Zelle 344

1. Die Farbstoffe des Zellinhaltes im intensiven Licht . 345

2. Das Grundgerüste der Chlorophyllkörper und seine Einschlüsse im intensiven Licht 351

3. Das Hypochlorin im intensiven Licht 360

4. Das Protoplasma der Zelle und ihr Turgor im intensiven Licht 362

5. Die Membran der Zelle im intensiven Licht . . . 368

IV. Die Athmung der grünen Gewebe im Licht und die Function des Chlorophyllfarbstoffes 369

V. Assimilation und Farbe 378

A. Die chemische Hypothese der Chlorophyllfunction . . . 379

B. Ist die Farbe überhaupt eine nothwendige Bedingung für die Assimilation? 381

C. Folgerungen, die sich aus der Theorie der Chlorophyllfunction für die Deutung der Assimilationsversuche ergeben 386

1. Das Optimum der Kohlensäure-Zersetzung im Lichte 387

2. Die relative Energie der Farben im Reductionsprocesse 388

3. Die Constanz des Gasvolumens bei Assimilationsversuchen 390

VI. Die Entstehung des Hypochlorins in der Keimpflanze und seine Beziehung zur Assimilation 393

VII. Genauere Beschreibung einer Anzahl micro-photochemischer Versuche im intensiven Sonnlicht und ihrer Resultate . . . 408

Erste Versuchsreihe: Versuche mit verschiedenfarbigen concentrirten Sonnenbildern in atmosphärischer Luft. 409

Zweite Versuchsreihe: Parallel-Versuche mit verschiedenfarbigen concentrirten Sonnenbildern in verschiedenen Gasen 415

Erklärung der Abbildungen auf Taf. XI—XXVI. 430

Ueber Lichtwirkung und Chlorophyllfunction in der Pflanze.

Unter Hinweis auf eine spätere ausführlichere Behandlung des Gegenstandes habe ich in früheren Mittheilungen schon einige Angaben über meine Untersuchungen über die Chlorophyllkörper gemacht und die Resultate angegeben, zu welchen ich hierbei über die Lichtwirkung und die Chlorophyllfunction in der Pflanze gelangt war. Zugleich habe ich dort auch die Methode microscopischer Photochemie im concentrirten Sonnenlicht, die ich anwandte, um die Lichtwirkung direct in der Zelle unter dem Microscope constatiren zu können, schon in ihren allgemeinen Umrissen beschrieben.

Ich lasse hier die Darstellung meiner Untersuchungen in der beabsichtigten erweiterten Form folgen; versehen mit den nöthigen Abbildungen und mit einigen Belegen über den Gang und die Ausführung der Versuche im intensiven Lichte. Sie enthält in keinem Puncte von den früheren Publicationen wesentlich abweichende Angaben, da die wiederholte Nachuntersuchung mir nur eine wiederkehrende Bestätigung der Resultate gebracht hat. Jene älteren Publicationen, auf welche ich mich in diesem Aufsatze mehrfach beziehen werde, sind folgende:

1. Ueber Lichtwirkung und Chlorophyllfunction in der Pflanze. Monatsberichte der Berl. Akademie d. Wiss. Juli 1879.

2. Ueber das Hypochlorin und die Bedingungen seiner Entstehung in der Pflanze. Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wiss. vom November 1879.
3. Remarques sur la chlorophylle, Comptes rendus de l'Académie des sciences t. XC. séance du 26. janvier 1880.
4. Ueber eine Methode microscopischer Photochemie, Verhandlungen des Bot. Vereins d. Provinz Brandenburg, Sitzung vom 11. Juli 1879.
5. Zur Kritik der bisherigen Grundlagen der Assimilationstheorie der Pflanzen. Monatsb. d. Berl. Acad. d. Wiss. vom Februar 1881.

Ich habe im nachfolgenden Aufsatze die Eintheilung der Abschnitte nach den früheren Mittheilungen möglichst beibehalten.

I. Bau und Zusammensetzung der Chlorophyllkörper.

Bei der microchemischen Untersuchung der Chlorophyllkörper hat man sich zur Trennung der Farbstoffe von der Grundsubstanz bisher der Lösungsmittel bedient. Man ging hierbei stillschweigend von der Voraussetzung aus, dass das Lösungsmittel den Farbstoff aufnimmt, die anderweitigen Bestandtheile des Chlorophyllkorns aber unberührt in der Grundsubstanz zurücklässt.

Dies ist jedoch keineswegs der Fall. Dies Verfahren hat nur den Vorzug, die vom Farbstoff befreite Grundsubstanz einer leichteren Untersuchung zugänglich zu machen, allein es gestattet keine vollständige microscopische Analyse des Chlorophyllkorns. Denn es gehen gleichzeitig mit dem Farbstoff auch noch andere, bisher nicht unterschiedene, und vom Farbstoff noch nicht getrennte Bestandtheile desselben in die Lösung ein und diese entziehen sich ebenso, wie der Farbstoff selbst, der weiteren anatomischen Prüfung.

Ich habe deshalb, um die microchemische Untersuchung der Chlorophyllkörper zu vervollständigen, ein anderes Verfahren eingeschlagen und eine Trennung des Farbstoffes und seiner flüssigen, oder halbflüssigen Begleiter von der Grundsubstanz ohne Anwendung von Lösungsmitteln zu erreichen gesucht. Es gelingt dies, wenn man die Quellungserscheinungen der Chlorophyllkörper zu Grunde legt, durch

Behandlung der grünen Organe mit verdünnten Säuren und auch schon durch den blossen Einfluss von feuchter Wärme allein, d. h. durch Erwärmung der Gewebe in Wasser von höherer Temperatur oder in den Dämpfen von siedendem Wasser. — Bei dieser Behandlung wird der Chlorophyllfarbstoff nicht gelöst, aber er scheidet sich mit gewissen weichen, flüssigen oder halbflüssigen, Stoffen, die ihn begleiten, von der Grundsubstanz ab und tritt in Form kleinerer oder grösserer Ausscheidungen hervor, die neben den entfärbten Chlorophyllkörpern in der Pflanzenzelle liegen bleiben, und dann ebenso, wie die Grundsubstanz selbst, einer weiteren anatomischen und microchemischen Prüfung unterzogen werden können.

Je nach der Behandlung wird so eine partielle oder eine vollständige Trennung des soliden Gerüstes der Chlorophyllkörper von ihren weichen, oder flüssigen und farbigen Bestandtheilen erreicht. Die letztere bei combinirter Einwirkung von Wärme und verdünnter Säure, namentlich der Salzsäure.

Man findet dann, wie dies z. B. Fig. 1 Taf. XXV. von Vallisneria darstellt, den gesammten Farbstoff, welchen die Zelle in ihren Chlorophyllkörnern enthielt, noch innerhalb der Zelle selbst vor, und zwar zu gesonderten grösseren oder kleineren Tropfen angesammelt, die neben den Gerüsten der Chlorophyllkörper, aus denen sie ausgetreten sind, liegen bleiben. Wenn dieses Trennungsverfahren vorsichtig und richtig geleitet wird, dann bleibt die Grundsubstanz der Chlorophyllkörper ebenso intact und unter denselben Formen, wie bei der Entfärbung der Chlorophyllkörper durch Lösungsmittel zurück. — Vorweg ist hier nun zweierlei zu erwähnen. Erstens, dass die bei diesem Trennungsverfahren abgeschiedenen farbigen Tropfen nicht bloss aus dem grünen Farbstoff bestehen, sondern, wie schon der unmittelbare Augenschein lehrt, aus einer ölartigen Grundlage — dem Träger des Farbstoffes — der diesen selbst und die ihn begleitenden Substanzen in Lösung hält. Ferner, dass die entfärbte Grundsubstanz der Chlorophyllkörper nach dieser Behandlung eine Differenzirung und Anordnung ihrer Substanz zeigt, welche eine bemerkenswerthe, allen Chlorophyllkörpern, überhaupt allen Chlorophyllmassen gemeinsame Structur verräth. Sie besteht aus einem balkenartigen Gerüste oder Gitterwerke von dichterer Substanz, dessen Zwischenräume oder Maschen vor der Erwärmung und vor der Behandlung mit verdünnten Säuren von dem

weichen, halbflüssigen oder flüssigen Träger des Farbstoffes erfüllt und durchtränkt waren. Dieser eigenthümliche Bau kann übrigens in derselben Weise auch an den durch Lösungsmittel oder durch intensives Licht entfärbten Chlorophyllkörpern zur Anschauung gebracht werden.

Ich habe die Erscheinungen, die bei diesem Trennungsverfahren eintreten, schon früher[1]) kurz beschrieben. Hier sollen dieselben eingehender dargestellt und durch Abbildungen erläutert werden.

Die Veränderungen, welche man an den Chlorophyllkörpern wahrnehmen kann, wenn sie in der angedeuteten Weise behandelt werden, sind verschieden, je nachdem man feuchte Wärme oder verdünnte Säuren, jedes für sich allein, anwendet, oder beide Reagentien zur combinirten Wirkung bringt.

Die Erscheinungen compliciren sich ferner noch in denjenigen Fällen, in welchen in Folge der hohen Temperatur eine Wirkung auf die Stärkeeinschlüsse der Chlorophyllkörper eintritt; denn durch eine übermässige Quellung der Stärkeeinschlüsse kann bei Erwärmung in zu hoher Temperatur eine Sprengung des Chlorophyllkorns und die Zerstörung seiner Form erfolgen. Allein viele Gewebe lassen sich stundenlang in Wasser von mässiger Temperatur erwärmen, auch stundenlang mit Wasserdampf destilliren, ohne dass ihre Chlorophyllkörper im Innern der Zellen ihre Form aufgeben und ihre individuellen Abgrenzungen verlieren. Häufig behalten sie hierbei sogar ihre normale morphologische Structur bei.

Andere Gewebe sind allerdings empfindlicher. Ihre Chlorophyllkörper verlieren, wenn sie auch nur einige Minuten in Wasser gekocht werden, ihre Form und fliessen zusammen, oder was häufiger geschieht, sie behalten zwar noch ihre individuell abgegrenzten Gestalten, quellen aber in ihrer Masse ungleichmässig stark und brechen dann an ihrer Peripherie auf. Sie stellen dann unregelmässig geborstene Hohlkörper dar.

Solche Gestaltsveränderungen, wie dies z. B. Fig 3, Fig. 6 und Fig. 9, Taf. XXV. von Vallisneria und Mnium darstellen, sind immer Zeichen übermässiger Quellung der Stärkeeinschlüsse und können je

1) Untersuchungen über das Chlorophyll, dritte und vierte Abtheilung. Monatsberichte der Königl. Akad. d. Wiss. in Berlin vom Juli und November 1879.

nach der Pflanzenart bei sehr verschieden hoher Temperatur eintreten. Sie treten um so sicherer und leichter auf, je grösser der Gehalt an Stärke im Chlorophyllkorn ist und namentlich dann, wenn die Stärkeeinschlüsse schon als besondere, deutlich von der Grundsubstanz abgegrenzte Körper im Chlorophyllkorn bemerkbar werden. Sie treten jedoch bei Gegenwart von Stärke in den Chlorophyllkörpern durchaus nicht immer nothwendig ein, denn ich habe Chlorophyllkörper mit deutlicher Stärkereaction in ihrer Gestalt und Structur häufig noch ebenso immun gegen hohe Temperaturgrade gefunden, wie solche ohne jeden durch Jod erkennbaren Stärkegehalt.

Ganz verschieden von diesen durch Quellung der Stärke hervorgerufenen Veränderungen und Berstungen des Chlorophyllkorns sind nun die Trennungserscheinungen des Farbstoffes und seiner Begleiter, von welchen ich oben gesprochen habe und welche gleichfalls unter dem Einfluss der Wärme an den Chlorophyllkörpern wahrgenommen werden. Sie treten ganz unabhängig von dem Stärkegehalt des Chlorophyllkorns, und auch viel früher und unter weniger eingreifenden Bedingungen ein.

Die Erscheinung selbst ist übrigens in allen Fällen die gleiche. Nach der Erwärmung finden sich an der Peripherie der Chlorophyllkörper einige kleinere oder grössere Tropfen, die sichtlich unter der Einwirkung des warmen Wassers oder der heissen Dämpfe aus ihnen hervorgetreten sind. So zeigen Fig. 2, 4, 13, 14 Taf. XXV. Chlorophyllkörper aus dem Blattgewebe von Vallisneria, Elodea, Selaginella, nachdem die Blätter eine Stunde lang den Dämpfen kochenden Wassers ausgesetzt waren; und ebenso zeigt Fig. 5 Taf. XXV. Chlorophyllkörper aus einem Blatt von Callitriche, welches 5 Minuten in Wasser gekocht wurde.

Wird die Erwärmung länger fortgesetzt, so mehren sich diese Tropfen unter gleichzeitiger stärkerer Entfärbung der Grundsubstanz. Doch sind es nicht eigentlich leichtflüssige Tropfen, die hier aus den Chlorophyllkörpern hervortreten, sondern halbflüssige, weiche, nicht genau sphärische Massen. Sie sind immer gefärbt, bald heller bald dunkler grün, gewöhnlich rein chlorophyllgrün, oder sie zeigen auch verschiedene Töne von gelb- und blau-grün; hin und wieder sind sie olivengrün und seltener röthlichbraun. Sie sind immer leicht und vollständig in starkem Alcohol und Aether löslich.

Die Chlorophyllkörper selbst erscheinen nun je nach Höhe der angewandten Temperatur und nach der Dauer der Einwirkung mehr oder weniger wie Hohlkörper. War die Temperatur für den Stärkegehalt der untersuchten Chlorophyllkörper nicht zu hoch, so behalten sie, wie bereits oben erwähnt, ihre individuelle Form bei; sie erscheinen aber in ihrer Masse differenzirt, d. h. ihre Substanz erscheint aus abwechselnd dichteren und weniger dichten Partien gebildet, die so angeordnet sind, dass das Ganze den Eindruck eines netzartigen Gerüstes oder hohlen Balkennetzes macht. War die Temperatur aber zu hoch, so bestehen sie nur noch aus den zerrissenen Schalenstücken des ursprünglichen Kornes (Fig. 3, 6, 9 Taf. XXV.),

Sie sind noch meist deutlich, wenn auch bedeutend schwächer grün, als vor ihrer Erwärmung, und eine völlige Entfärbung lässt sich auch durch die blosse Anwendung feuchter Wärme nur schwer erreichen. Die Structur der zurückbleibenden Grundsubstanz wird daher bei diesem Verfahren auch nicht so deutlich, wie bei gleichartiger Anwendung von verdünnter Säure und Wärme und es soll daher erst später genauer von ihr die Rede sein.

Um die Erscheinung der Tropfen-Abscheidung an den Chlorophyllkörpern hervorzurufen, genügt es, die Gewebe in irgend einer beliebigen Weise bei Gegenwart von Wasser zu erwärmen. In den weitaus häufigsten Fällen wird man dies am bequemsten und raschesten erreichen, wenn man die Gewebe etwa 5 Minuten in Wasser aufkocht. Soll aber die Form der Grundsubstanz und ihre Structur in möglichst normalem Zustande erhalten bleiben, dann wird man allerdings in den meisten Fällen anders verfahren müssen, denn nur wenige Gewebe vertragen ein Aufkochen im Wasser unter Beibehaltung der Form ihrer Chlorophyllkörper. Man muss dann die Erwärmung nach dem Zustande des Gewebes und nach dem Stärkegehalt der Chlorophyllkörper zu reguliren suchen.

Die Verfahrungsarten, die ich anwende und die immer zum Ziele führen, sind folgende. Ich erwärme die Gewebe etwa 15 Minuten und länger, bis eine Stunde lang, in Wasser von 50° C. oder, wenn dies nicht ausreicht, in Wasser von 60—80° C., oder endlich, ich setze sie 15 Minuten bis mehrere Stunden lang den Dämpfen von siedendem Wasser aus, indem ich sie zu diesem Zwecke in passender Weise in einem geräumigen Kolben aufhänge, auf dessen

Boden Wasser im Kochen erhalten wird. Für die verschiedenen Gewebe zeigt sich bald das eine, bald das andere Verfahren günstiger und es ist namentlich hervorzuheben, dass das Destilliren im Wasserdampf von 100° C. die Chlorophyllkörper in ihrer Form und Structur meist weniger angreift, als das Kochen in Wasser und selbst als das längere Digeriren in Wasser bei viel niederer Temperatur. Für einige Pflanzen findet man in den Erklärungen der Abbildungen noch weitere, nähere Angaben über das eingehaltene Verfahren.

Schon die unmittelbare Beobachtung lässt kaum einen Zweifel über die natürliche Auffassung der Erscheinung, die bei der Erwärmung der Chlorophyllkörper im Wasser zu Tage tritt, denn man sieht den Farbstoff an eine nahezu flüssige oder weiche Substanz gebunden, oder in ihr gelöst, in Folge der Wasseraufnahme des Chlorophyllkorns, bei höherer Temperatur aus demselben hervortreten. Die Tropfenausscheidung erscheint daher als der mechanische Effect eines einfachen Quellungsvorganges und es liegt nahe, anzunehmen, dass die Substanz, welche den Farbstoff gebunden hält, im natürlichen Zustande das Chlorophyllkorn durchtränkt und die Maschen der dichteren Substanz des Grundgerüstes erfüllt, durch die in Folge der Wasseraufnahme eintretende Quellung aber aus demselben hervorgedrängt wird.

Der bisher beschriebenen Tropfenausscheidung durch feuchte Wärme ähnlich, aber durch auffallende, eigenthümliche Charaktere von ihr verschieden, ist die Erscheinung, welche die Chlorophyllkörper zeigen, wenn sie mit gewissen verdünnten Säuren, namentlich mit Salzsäure behandelt werden. Sie führte mich zur Auffindung eines allgemein in den Chlorophyllkörpern verbreiteten Stoffes, der continuirlich in ihnen entsteht und verschwindet und von dessen Existenz ich bereits in früheren Aufsätzen unter dem Namen „Hypochlorin“ Mittheilung gemacht habe.

Zu seinem microscopischen Nachweise in den Zellen bediene ich mich jetzt fast ausschliesslich nur noch der verdünnten Salzsäure und zwar in der Verdünnung von 1 Volumen concentrirter Salzsäure auf 4 Volumina Wasser. Die im Nachfolgenden beschriebenen Hypochlorin-Präparate sind, sofern nicht ausdrücklich etwas anderes bemerkt ist, durchweg durch die Behandlung der Chlorophyllkörper mit dieser verdünnten Säure gewonnen worden. Es ist jedoch keines-

wegs durchaus nöthig, die hier angegebene Concentration der Säure einzuhalten; nur kann man wegen der anderweitigen Einwirkungen der Säure auf den Zellinhalt sowohl bei concentrirter, als bei stärker verdünnter Säure, nicht mit gleicher Sicherheit darauf rechnen, die Erscheinung in der bestimmten Zeit eintreten zu sehen und deutliche und schöne Präparate zu erhalten.

Werden nun grüne Gewebe mit Salzsäure behandelt, so bemerkt man an ihnen unmittelbar nach Hinzufügung der Säure keine andere auffallende Erscheinung, als ihre plötzliche Farbenänderung. Das ganze Gewebe sowohl, wie die einzelnen Chlorophyllkörner in den Zellen, nehmen, wie wohl Jeder weiss, der Untersuchungen über Chlorophyll angestellt hat, sofort einen gelbgrünlichen, goldgelben oder mehr bräunlichen Ton an. Hierbei findet jedoch weder eine Zerlegung des grünen Farbstoffes statt — wie man dies so häufig fälschlich behauptet hat — noch nimmt die Salzsäure selbst den Farbstoff auf, sie bleibt ganz farblos. Nur in jenen ganz speziellen Fällen, die aber natürlich die allgemeine Beschaffenheit der Chlorophyllkörper gar nicht berühren, in welchen die grünen Gewebe neben Chlorophyll noch andere, unwesentlichere, z. B. rothe Farbstoffe führen, kann die Salzsäure bei dieser Behandlung der Gewebe den begleitenden Farbstoff aufnehmen und sich mit demselben roth färben.

Die Chlorophyllkörper selbst zeigen — abgesehen von dem eben besprochenen Farbenwechsel, der ja die Farbenänderung des ganzen Gewebes schon äusserlich hervorruft — keine wesentliche Veränderung weder in ihrer Form, noch in ihrer Structur, nur sind sie jetzt nicht mehr rein chlorophyllgrün, sondern zeigen gleichmässig durch ihre ganze Substanz einen etwas nach Gelb oder Blau neigenden Farbenton.

Allein schon nach wenigen Stunden finden sich in denselben, vornehmlich an ihrer Peripherie, dunkle, röthlichbraune oder rostfarbige und gegen die übrige Substanz des Chlorophyllkorns scharf abgegrenzte Massen vor (Taf. XIV. Fig. 7, 8, 10), von denen vor Einwirkung der Säure nichts zu bemerken war.

Die Erscheinung ist allgemein. Sie hängt nicht von der Form der Chlorophyllkörper ab und findet sich daher sowohl bei den grünen Pflanzen mit eigentlichen Chlorophyllkörperchen (Taf. XIX. und Taf. XXIV. Fig. 3), als auch bei denjenigen niederen Gewächsen, bei

welchen die Chlorophyllkörper bandartige oder anders geformte Massen darstellen, z. B. bei Mesocarpus (Taf. XVII. Fig. 1), bei Spirogyren (Taf. XVII. Fig. 2 und 3, Taf. XIV. Fig. 2e), bei Oedogonien (Taf. XVI. Fig. 1), bei Cladophora (Taf. XIII. Fig. 5) etc. Sie hängt auch nicht von einer spezifischen Eigenthümlichkeit der Pflanze oder von ihrer Stellung im System ab, sondern tritt ohne Ausnahme bei allen Pflanzen auf, welche in ihren Farbstoffkörpern die reine, dem normalen grünen Chlorophyll eigenthümliche Modification dieses Farbstoffes besitzen; also bei allen eigentlich chlorophyllgrünen Pflanzen, mögen diese nun Land-, Süsswasser- oder See-Bewohner sein. Sie fehlt dagegen bei den nicht chlorophyllgrünen Gewächsen, also bei den Phycochromaceen, Diatomeen, Phaeosporeen, Fucaceen und Florideen und selbstverständlich auch bei den Pilzen. Wenigstens konnte ich sie bisher in den genannten Pflanzengruppen noch nicht sicher nachweisen und nur Spuren derselben ist es mir geglückt, in manchen Entwickelungsstadien einiger Diatomeen aufzufinden, während die vorher erwähnte Abscheidung farbiger Tropfen durch blosse feuchte Wärme auch bei diesen Pflanzen, ebenso wie bei den chlorophyllgrünen hervorgerufen werden kann. Als eine einzeln stehende, auffallende Thatsache mag hier noch erwähnt werden, dass diese Reaction mit Salzsäure bei den Vaucherien, deren Farbstoff sich in manchen Fällen in seinem Farbenton auffallend dem der Phycochromaceen nähert, häufig ausbleibt, obwohl sie in vielen Fällen auch bei ihnen mit Entschiedenheit eintritt.

Zuerst, als ich noch zweifelhaft war, ob die Erscheinung in der That durch die Anwesenheit eines besonderen, noch unbekannten, in den Chlorophyllkörpern verbreiteten Körpers verursacht würde, habe ich die Pflanzen, bei denen ich sie fand, besonders notirt. Später habe ich dies aufgegeben, weil ich sie ohne Ausnahme in allen chlorophyllgrünen Geweben gefunden habe, in welchen ich sie suchte. Doch möge zur Orientirung hier noch die Liste der untersuchten Pflanzen, die ich in den ersten Tagen entworfen habe, folgen. — Ich fand die Reaction damals unter Algen: an den verschiedenen Species von Ulothrix, Draparnaldia, Chaetophora, Aphanochaete, Coleochaete, Mesocarpus, Spirogyra, Cladophora, Oedogonium, Bulbochaete, Closterium, Micrasterias, Pediastrum, ferner an Enteromorphen

und Cladophoren aus der Ostsee; unter Moosen und Farn: an Protonematis, Blättern und Stengeln von Mnium, Hypnum, Fontinalis, Sphagnum; an Proembryonen von Pteris, Blechnum, Gymnogramme; an Blättern verschiedener Selaginellen, endlich bei Phanerogamen an dem Btattgewebe von Taxus, Zostera, Vallisneria, Elodea, Ceratophyllum, Heliconia farinosa, Tilia, Ampelopsis.

Die genannten Pflanzen enthalten zugleich diejenigen, von denen die Abbildungen dieses Aufsatzes entlehnt sind. Hierzu kamen später noch eine grosse Reihe der verschiedensten Pflanzen, die ich nicht mehr weiter besonders vermerkt habe, so dass ich zu dem Ausspruch vollkommen berechtigt zu sein glaube, dass diese Reaction, wie bereits erwähnt, eine allen Chlorophyllkörpern gemeinsame ist. Sie tritt sowohl bei Pflanzen mit eigentlichen Chlorophyllkörpern, als bei solchen mit verschieden geformten Chlorophyllmassen ein; ferner ebenso wohl bei Pflanzen, deren Chlorophyllkörper Stärkeeinschlüsse enthalten, als bei solchen, deren Chlorophyllkörper frei von Stärke sind und anstatt Stärke Oel führen, endlich bei Pflanzen aller Standorte und aller Abtheilungen des Gewächsreiches.

Von den Tropfen, die schon durch feuchte Wärme allein aus den Chlorophyllkörpern abgeschieden werden (Taf. XXV. Fig. 2, 4, 5, 13, 14), unterscheiden sich diese durch verdünnte Salzsäure entstehenden Ausscheidungen (Taf. XIX) schon sofort durch ihre röstbraune Farbe, ferner durch ihre Massigkeit und durch ihre der bere Consistenz. Die Tropfen, die durch Wärme aus jedem einzelnen Chlorophyllkorn hervortreten, sind an Masse bedeutend geringer und in ihrer Consistenz offenbar mehr tropfenartig-flüssig, als die rothbraunen Massen, welche durch Salzsäure entstehen. Diese letzteren machen von Anfang an keinen tropfenartigen Eindruck, sondern bilden weiche oder fettartig-schmierige Massen von unregelmässiger Form, die hin und wieder eine festere Begrenzung, eine Art Pellicula, zeigen, indem sie von ihrer Oberfläche aus gleichsam zu gerinnen, oder fest zu werden beginnen.

Dieser Eindruck steigert sich nach kurzer Zeit, auch wenn die Präparate nicht in der Salzsäure liegen bleiben, und die rostfarbenen Massen werden dann deutlich eckig, spitzig und gestalten sich zu mehr oder weniger ausgebreiteten Schuppen oder Nestern von undeutlich krystallinischem Gefüge, aus welchen kantige oder spitzige Fort-

sätze hervortreten (Taf. XXI. Fig. 9; Taf. XXII. Fig. 3 und 4; Taf. XVI. Fig. 12), oder bilden auch wolkenartige Niederschläge mit dichteren Einlagerungen (Taf. XXV. Fig. 10 und 12).

Soweit tritt die Reaction ziemlich gleichartig bei allen grünen Pflanzen schon in den ersten 6 bis 60 Stunden nach der Einwirkung der Säure ein, indessen sieht man schon in diesen ersten Tagen hier und da an einem oder dem anderen Chlorophyllkorn auch einen längeren, stäbchen- oder schwanzartigen Fortsatz auftreten.

Werden aber die Präparate älter, so entwickeln sich aus diesen zuerst entstandenen, unregelmässigen Massen äusserst sonderbare, vielgestaltige Bildungen und es erscheint hierbei fast gleichgültig, ob die Präparate oder die Gewebe, von denen sie herrühren, noch ferner in der Salzsäure liegen bleiben, oder aus ihr herausgenommen und z. B. in Wasser gebracht werden.

Es schiessen nämlich aus den rostfarbenen Absonderungen längere Gebilde verschiedener Art hervor. Kürzere, gerade oder gekrümmte, oder auch wellenartig gebogene Stäbchen mit stumpfen oder spitzen Enden (Taf. XVIII. Fig. 1; Taf. XX. Fig. 10), oder längere gerade und gebogene oder korkzieherartig gewundene Nadeln (Taf. XVIII, Fig. 2, 3, 4, 5; Taf. XXI. Fig. 1 und 2; Taf. XVI. Fig. 4—11), oder auch äusserst lange, dünne und biegsame Fäden (Taf. XX. Fig. 1, 2, 3, 4, 6, 7 u. s. w., Taf. XVI. Fig. 3.)

Alle diese Bildungen, die ich unter dem Namen der Hypochlorin-Nadeln, Stäbchen und Fäden begreife, zeigen nirgends eine deutliche Structur nach Art organischer Gebilde. Nur hin und wieder zeigen die dicksten der Stäbchen-Formen eine ähnliche dichtere Beschaffenheit der Peripherie, wie sie schon hin und wieder an den ersten, noch tropfenartigen Massen wahrgenommen werden kann und dann zeigt die Begrenzung in einzelnen Fällen auch doppelte Conturen (Taf. XIII. Fig. 7).

Diese dickeren Stäbchen erinnern unter den bekannten histologischen Bildungen noch am meisten an die sog. Stäbchen der Wachsüberzüge der Musaceen u. s. w. Dagegen erscheinen die dünneren, starren und spitzigen Bildungen (Taf. XVI., XX.) und die primären Schuppen und Nester (Taf. XVI. Fig. 12 u. s. w.) wieder mehr wie nadelförmige Krystalle, und auch die kürzeren rhombischen Stäbchen und die Fortsätze der Hypochlorin-Schuppen

(Taf. XXV. Fig. 7 u. 11) machen gleichfalls vielmehr einen krystallinischen Eindruck. Man kann daher wohl im Zweifel sein, ob die Gebilde, die hier entstehen, eine organische Structur oder ein krystallinisches Gefüge besitzen und da ihre Gestalt auch in den bestentwickelten Formen nicht in bestimmter Weise organisirt und auch krystallographisch nicht bestimmbar ist, sie aber doch nicht amorph genannt werden können, so bleibt nur übrig, wie dies bei ähnlichen unbestimmt geformten, organischen Producten geschieht, sie als krystalloidische Bildungen zu bezeichnen.

Ueber ihre chemische Beschaffenheit geben die bisher allein zugänglichen microscopischen und microchemischen Charactere die folgenden Anhaltspunkte.

Bei ihrem ersten Auftreten noch innerhalb der Chlorophyllkörper machen, wie bereits hervorgehoben wurde, die rostbraunen Ausscheidungen den Eindruck zusammenfliessender, fettartiger Massen. Jedoch haben sie nach Consistenz, Begrenzung und schwerer Beweglichkeit in ihrem microscopischen Verhalten mehr Aehnlichkeit mit Tropfen von ätherischem, als mit fettem Oel.

Die späteren Gestaltungsvorgänge machen es wahrscheinlich, dass die Masse nach ihrer Ausscheidung eine Veränderung erleidet und die krystalloidische Erstarrung der Oberfläche lässt die Vermuthung entstehen, dass die vorher offenbar ölartige Substanz hier wenigstens zum Theil einem Verharzungsprocesse unterliegt, welcher die entstehenden krystalloidischen Bildungen hervorruft. Dass es nicht die ganze ausgeschiedene Masse ist, welche in feste Form übergeht, sieht man in allen Fällen deutlich, denn die Fäden, Nadeln, Stäbchen etc., die sich bilden, treten immer noch aus einem zurückgebliebenen Reste der ursprünglichen Masse hervor, aus welcher sie gleichsam, wie aus einer Mutterlauge herauskrystallisirt sind. Es liegt daher hier offenbar ein Gemenge von Substanzen vor, in welches auch der Farbstoff der Chlorophyllkörper zum Theil eingegangen ist und dessen Löslichkeitsverhältnisse dem Verhalten eines Gemenges von Oel- und Harz-artigen Stoffen entsprechen, in dem Sinne natürlich, in welchem diese Begriffe in der microscopischen Anatomie gehandhabt werden. Denn es ist ein Gemenge von organischen Producten des Zellinhaltes, die nach ihren microchemischen Eigenschaften weder zu den Eiweisskörpern, noch zu den Kohlenhydraten

gehören und durch ihre Unlöslichkeit in Wasser, in verdünnten Salzlösungen und Säuren und anderseits durch ihre leichte Löslichkeit in Alcohol, Aether, Benzol, Schwefelkohlenstoff, Petroläther, ätherischen Oelen u. s. w., — welche Lösungsmittel sämmtlich bei vorsichtiger Behandlung das ganze Gemenge mit den krystalloidischen Bildungen ohne Rückstand aufzulösen vermögen — ihre Verwandtschaft mit den kohlenstoffreichen Gruppen der Harz- und Fettkörper documentiren.

Die Farbe des Gemenges dürfte ausschliesslich vom Chlorophyllfarbstoff herrühren und nur der tieferen Sättigung mit dem durch die Salzsäure modificirten Farbstoffe entsprechen. Dafür spricht wenigstens der Umstand, dass die höher entwickelten Formen der Ausscheidungen — Nadeln, Fäden u. s. w. — später, wenn sie längere Zeit dem Lichte ausgesetzt bleiben, ihre Farbe verändern, heller werden, oft langsam von der Spitze aus erbleichen und sogar ganz farblos werden können (Taf. XVI. Fig. 4, 5, 10, 11, Taf. XXI. Fig. 2, 3). Uebrigens sind auch die krystallinischen Spitzen und kürzeren Stäbchen, die aus den primär ausgeschiedenen Massen hervortreten, hin und wieder schon bei ihrem ersten Entstehen farblos.

Nur diejenige Substanz dieses Gemenges nun, welche aus demselben in Form der Nadeln, Fäden u. s. w. herauskrystallisirt, oder vielmehr ihre präexistirende Grundlage in den Chlorophyllkörpern bezeichne ich als „Hypochlorin“, wobei ich vorläufig davon absehe, ob jene präexistirende Grundlage während ihrer Abscheidung durch die Salzsäure noch eine Veränderung erleidet oder nicht.

Dies Hypochlorin besteht offenbar schon in den Chlorophyllkörpern in ihrem natürlichen Zustande neben dem grünen Farbstoffe, denn die Ausscheidungen treten ja sichtlich aus der Substanz des Chlorophyllkorns hervor. Nun könnten aber vielleicht Zweifel entstehen, ob dasselbe in der That, wie ich es hier auffasse, als ein besonderer, selbständiger und vom Farbstoff differenter Körper in den Chlorophyllkörpern existirt, oder nicht vielmehr bloss ein durch die Salzsäure erzeugtes Derivat des grünen Farbstoffes ist.

Doch zerstreuen sich diese Zweifel, ganz abgesehen von der oben berichteten Thatsache, dass die älteren Hypochlorinbildungen später erbleichen, sogleich, wenn man die mit Salzsäure behandelten Ge-

webe in Bezug auf das Vorkommen des Hypochlorins an den einzelnen Chlorophyllkörpern genauer untersucht. Denn es springt dann sofort ins Auge — man vergleiche z. B. Taf. XIV. Fig. 9 oder Taf. XXI. Fig. 1 oder auch die Figuren der Tafeln XIX. und XX. — dass auffallender Weise nicht sämmtliche Chlorophyllkörper derselben Zelle rostfarbige Ausscheidungen oder Hypochlorinnadeln besitzen. Das gewöhnliche Vorkommniss ist vielmehr, dass diese Bildungen in jeder Zelle nur an einigen Chlorophyllkörpern auftreten, an anderen aber fehlen und dies Verhältniss wiederholt sich, wie ich gleich hervorhebe, in allen Zellen des untersuchten Gewebes. Häufig finden sich sogar in den einzelnen Zellen nur an wenigen, an einem oder an zwei Chlorophyllkörnern, Hypochlorin-Ausscheidungen, während sie in den anderen Chlorophyllkörpern derselben Zelle absolut fehlen. Ja in ausgedehnten Geweben, welche sonst reichlich Hypochlorin besitzen, findet sich, wenn auch selten, hier und da zerstreut eine oder die andere Zelle (Taf. XIV. Fig. 8) oder auch eine kleinere Gewebspartie ganz ohne Hypochlorin.

Wäre das Hypochlorin aber, wie man vermuthen könnte, ein durch die Salzsäure erzeugtes Derivat des Farbstoffes, so müsste dasselbe bei der Behandlung der Gewebe mit Salzsäure nothwendig an allen Chlorophyllkörnern ohne Ausnahme zur Erscheinung kommen. Denn es lehrt ja schon der Augenschein, dass die Chlorophyllkörper eines normalen Gewebes und namentlich die einer und derselben Zelle wesentlich gleichartig sind und man ist zweifellos nicht berechtigt, einen Unterschied in der Beschaffenheit des Farbstoffes an den verschiedenen Chlorophyllkörpern derselben Zelle zu statuiren.

Die Reaction mit Salzsäure, die an vielen Chlorophyllkörpern eintritt, gleichzeitig aber an anderen Chlorophyllkörpern desselben Gewebes und derselben Zelle fehlt, verräth daher die Existenz eines besonderen Stoffes in ihnen, der nicht nothwendig in die Constitution des Chlorophyllkorns gehört, insofern er an normalen Chlorophyllkörpern fehlen kann, der aber in seiner allgemeinen Verbreitung in den grünen Geweben aller Chlorophyll-Pflanzen ein allgemeines und regelmässiges Bildungsprodukt der Chlorophyllkörper darstellt, welches, wie andere ähnliche Erzeugnisse derselben, zum Beispiel wie Stärke und Oel, in ihnen bald nachweisbar vorhanden ist, bald

fehlt, je nachdem er gerade in dem einzelnen Chlorophyllkorn sich angesammelt hat oder verbraucht ist.

Die sporadische Verbreitung des Hypochlorins in den Chlorophyllkörpern der mit Salzsäure behandelten Gewebe ist daher nicht nur ein Beweis für die Selbständigkeit des Hypochlorins als eines besonderen Stoffes in den Chlorophyllkörpern, sondern sie nöthigt zugleich zu der Annahme, das dasselbe in ihnen einem regelmässigen Verbrauche unterliegt. Die jedesmal vorhandene Menge in der Zelle entspricht daher nur dem zufälligen Ueberschuss seiner Bildung über seinen Verbrauch in den Chlorophyllkörpern zur Zeit der Untersuchung. Hieraus erklären sich dann die äusserst wechselnden Mengenverhältnisse von Hypochlorin, die sich in verschiedenen Zeiten in denselben Geweben vorfinden, sowie ferner der Umstand, den ich schon oben hervorhob, dass hin und wieder in einer einzelnen Zelle, oder in einer kleineren Gewebspartie die Reaction mit Salzsäure ganz unterbleibt.

Bei denjenigen Pflanzen, welche, wie dies bei einer grösseren Anzahl von Algen der Fall ist, keine eigentlichen Chlorophyllkörper besitzen, sondern an deren Stelle grössere zusammenhängende Chlorophyllmassen von verschiedener Form, kommt es nur selten vor, dass in der einen oder anderen Zelle, oder gar in dem einen oder anderen Faden das Hypochlorin ganz fehlt. Dagegen spricht sich der regelmässige Verbrauch desselben auch bei ihnen in der ausserordentlich variablen Quantität aus, welche zu verschiedenen Zeiten in ihren Zellen vorhanden ist. Hierfür geben namentlich die Spirogyren- und Oedogonien-Species leicht zu controlirende Beispiele ab, wenn man dieselben Species in verschiedenen Jahreszeiten und in verschiedenen Entwickelungszuständen untersucht.

Bei diesen Pflanzen mit ausgedehnten Chlorophyllbändern, Chlorophyllplatten u. s. w. wird zugleich die Selbständigkeit des Hypochlorins als eines unmittelbaren Bildungsproductes des Chlorophyllkörpers noch durch seine scharfe Localisation in der Chlorophyllmasse direct anatomisch sichtbar. Besonders leicht ist dies constatirbar an Spirogyren, Draparnaldien und Oedogonien.

Bei den Spirogyren treten die Hypochlorinbildungen als genau begrenzte Massen einzeln am Rande und in der Mittellinie der Bänder in weiten, man könnte fast sagen, nahezu gleichen Abständen

von einander auf (Taf. XIV. Fig. 2c, Taf. XVII. Fig. 2, 3, Taf. XXII. Fig. 2). Aehnlich verhalten sie sich in den Oedogonien mit längeren Zellen, sofern diese nicht schärfer gesonderte Chlorophyllkörper haben (Taf. XVI.). In den längeren Zellen der Stämme und Hauptäste der Draparnaldien liegen in dem Chlorophyll-Querbande überhaupt nur sehr wenige, oft nur ein oder zwei weit von einander entfernte, und scharf begrenzte Hypochlorinbildungen (Taf. XX. Fig. 6 u. 7).

In allen diesen Fällen ist es geradezu unmittelbar zu sehen, dass die durch die Reaction erkennbar werdenden Hypochlorinmassen selbständige, von der Grundmasse und dem Farbstoff des Chlorophyllkörpers verschiedene Bildungen sind, die nach Einwirkung der Säure an dem Orte ihrer Entstehung im Chlorophyllkörper sichtbar werden.

Bei diesen Pflanzen, den Spirogyren, Draparnaldien, Oedogonien etc., gelangt nun noch ein zweites anatomisches Verhältniss in dem örtlichen Vorkommen des Hypochlorins zum Ausdrucke, welches gleichfalls einen wichtigen Anhaltspunkt für die Beurtheilung der physiologischen Function dieses noch unbekannten Körpers in der grünen Pflanzenzelle bietet.

Die genannten Pflanzen besitzen, wie bekannt, in ihren Zellen eigenthümliche, histologische Elemente, welche man, da sie regelmässige Bildungsstätten von Stärke sind, Amylumheerde genannt hat. Nun zeigt sich eine ausgesprochene, höchst auffallende Beziehung der Hypochlorinbildungen zu den Amylumheerden.

Es erscheinen nämlich die Hypochlorinbildungen mit Vorliebe an der Peripherie der Amylumheerde und zwar schon früher, als die Stärke in diesen auftritt.

In den Draparnaldien findet sich in den Stammzellen, wie es scheint ohne Ausnahme, das Hypochlorin überhaupt nur an der Peripherie der Amylumheerde [1]) (Taf. XX. Fig 6, 7). Bei Oedogonien (Taf. XVI.) und Spirogyren (Taf. XVIII.) wenigstens vorzugsweise an diesen. Ja bei den letzteren darf man vielleicht behaupten, dass

---

1) Auf die Amylumheerde der Draparnaldien ist meines Wissens noch nicht aufmerksam gemacht. Sie sind in den Zellen der Stämme und primären Aeste sehr deutlich (a. a. a. Fig. 6 u. 7 Taf. XX.). Bei den dünnen peitschenförmigen Aesten der Astbüschel sind sie schwerer zu beobachten.

diejenigen Stellen im Chlorophyllbande, wo das Hypochlorin scheinbar ohne Beziehung zu einem Amylumheerde auftritt, praedestinirte Orte für die Amylumheerde sind.

Diese Annahme stützt sich auf eine noch unbekannte Thatsache in der Organisation der Spirogyren, die ich hier, da sie gleichfalls die Bedeutung des Hypochlorins in der Pflanzenzelle zu beleuchten geeignet ist, noch mit einigen Worten berühren will.

Die Plasmodienstränge, welche bei den Spirogyren von dem Centralplasma ausgehen, in welches der Cytoblast gebettet ist, verlaufen nämlich nicht, wie man gewöhnlich angiebt, in die wandständige Protoplasmaschicht, sondern sie selbst oder ihre primären, secundären und folgenden Gabeläste setzen sich mit ihren Enden an die untere, dem Zellumen zugekehrte Fläche der Chlorophyllbänder an. Hier nun münden sie typisch und regelmässig (Taf. XXIV. Fig. 4) in einen Amylumheerd und zwar gehen sie wie ein cylindrischer Schlauch in die Peripherie des Amylumheerdes über, so dass dieser gleichsam nur den Querschnitt eines cylindrischen Plasmodiumzweiges darstellt, in dessen Centrum ein protoplasmatischer, einem Nucleus ähnlicher Kern liegt. Wenn nun irgendwo das Ende eines solchen Plasmodiumstranges an der unteren Fläche der Bänder scheinbar an einer Stelle mündet, wo noch kein Amylumheerd vorhanden ist, so darf man sicher sein, dass hier ein Amylumheerd in Bildung begriffen ist. Mit der Vermehrung der Amylumheerde durch Theilung geht nämlich einerseits die gabelspaltige Theilung der letzten Endzweige der Plasmodienstränge Hand in Hand; anderseits aber geht diese auch der Theilung der Amylumheerde voraus, und der eine Gabelast bildet erst später, nachdem die beiden Gabeläste schon auseinander getreten sind, an seinem Ende im Chlorophyllbande einen neuen Amylumheerd.

Man findet daher stets zwei benachbarte Amylumheerde, die auch in benachbarten Windungen liegen können [1]), durch die letzten Endigungen der Plasmodienstränge gleichsam brückenartig verbunden. — Auch in den Winkeln der Gabeltheilung der Plasmodien ist bei lebhafter Vegetation der Spirogyren eine, vielleicht einem Amylum-

1) Dies folgt aus der seitlichen Theilung der Amylumheerde und der darauf folgenden Längsspaltung der Bänder.

heerd verwandte, Verdickung vorhanden, in welcher eine bläschenartige Zelle liegt. So stehen die Amylumheerde unter sich und mit dem Cytoblasten in directer Verbindung durch die Plasmodienstränge und diese erscheinen als die Wege, auf welchen die Stoffe fortgeführt werden, die an der Peripherie der Amylumheerde gebildet werden. Hier aber bildet sich vorzugsweise das Hypochlorin, sowie auch an jenen Randstellen der Bänder, in welche man gleichfalls die Plasmodienstränge noch häufig münden sieht, und die, wie ich oben erwähnte, als früheste Entwickelungszustände von Amylumheerden zu betrachten sind.

So erscheint das Hypochlorin durch seine räumliche Vertheilung bei den Spirogyren und seine Bildung an den Enden des verzweigten Plasmodiensystems schon eine nahe Beziehung zu der Ernährung der Zelle zu verrathen. Und wenn auch diese Verhältnisse genau so, wie bei den Spirogyren, nur in wenigen Fällen wiederkehren, vielmehr durch Anpassungen und Einrichtungen anderer Art ersetzt werden — worüber ich mir weitere Mittheilungen vorbehalte —, so ist doch das constante Auftreten des Hypochlorins an der Peripherie der Amylumheerde bei allen Pflanzen, welche deutliche Amylumheerde besitzen, eine bedeutungsvolle Erscheinung, die eine genetische Beziehung beider Körper wahrscheinlich macht.

Der günstige Umstand, dass das Hypochlorin bei den Spirogyren an so genau bestimmten Orten auftritt, liess auch hoffen, dass es bei einiger Aufmerksamkeit gelingen müsse, in den frischen, noch nicht mit Salzsäure behandelten Chlorophyllbändern schon Andeutungen seiner Existenz oder Spuren des Stoffes aufzufinden, der die Reaction mit Salzsäure giebt.

Man kann nun in der That an den genannten Stellen der Spirogyren-Bänder, an welchen nach Einwirkung der Salzsäure die

---

1) Bei den grösseren Spirogyren, man untersuche zuerst die Formen der Spirog. crassa, sind alle diese Verhältnisse mit guten Immersionslinsen leicht zu beobachten. In den Fällen, in welchen die Zellen sehr lang werden, ist der Uebergang der Plasmodienstränge in die Amylumheerde nur in den mittleren Windungen zu sehen, weil die Gabeläste der Plasmodien, die den entfernteren Windungen zugehören, durch das Ausziehen der Windungen platt an die Hautschicht gedrängt, hier brückenartig die Windungen verbinden oder auch abreissen und obliteriren und durch die feineren Querströmchen zwischen den Windungen ersetzt werden.

Hypochlorinmassen zur Erscheinung kommen, auch in den frischen Pflanzen Erscheinungen wahrnehmen, die hier das Vorhandensein eines eigenthümlichen Körpers verrathen.

Bei leichten Eingriffen nämlich, die nur eine geringe Störung im Inhalte der Spirogyren hervorrufen, aber das Leben der Zellen nicht gefährden und auch die Ordnung in denselben nicht aufheben, zum Beispiel bei mechanischem Druck, oder bei starker Erwärmung, je nach der Species bei 30° oder 40° C., sieht man an hypochlorinreichen Exemplaren, namentlich von Spirogyra crassa oder anderen grossen Species, an den Randausbuchtungen der grünen Bänder und neben den Amylumheerden, also genau an den Erscheinungsstellen der Hypochlorinbildungen, grosse, helle, vacuolenartige Räume auftreten, die man gewöhnlich nicht bemerkt, und die mit einer das Licht stark brechenden, ölartigen Substanz erfüllt sind. Diese Oelvacuolen (Taf. XXII. Fig. 1) darf man nicht verwechseln mit den bekannten kleinen Fetttropfen, die häufig gleichfalls von den Spirogyren-Bändern abgeschieden werden und überall zerstreut in den Bändern auftreten können. Sie sind von ihnen wesentlich verschieden, bedeutend grösser, leichtflüssiger und scheinen von einer membranartigen Hülle begrenzt, die, wie es scheint, nur von einer Verdichtung des umgebenden Plasma herrührt (Taf. XIII. Fig. 13). Mit ihrer Erscheinung ist gewöhnlich eine geringe Contraction des grünen Bandes in seiner Breite und der Verlust der seitlichen Auszackungen des Bandes verbunden. Namentlich bei geringer Ewärmung kann man nun häufig sehr schön am Rande der Bänder unmittelbar beobachten, wie dies an einigen Stellen der Fig. 1 Taf. XXII. und bei a der Fig. 13 Taf. XIII. angedeutet ist, dass die grossen Oelvacuolen ihre Hülle durchbrechen, die hier eigentlich nur von dem Rande des Bandes gebildet wird und ihr flüssiger Inhalt verschwindend in die umgebende Masse der Hautschicht aufgenommen wird. Man kann endlich bei einiger Geduld an den grösseren Spirogyren, auch ohne absichtlich hervorgerufene Störungen, diese grossen Oelvacuolen spontan in den Bändern hier und da vereinzelt auftreten sehen. Ihr örtliches Zusammenfallen mit den durch Salzsäure hervorgerufenen Hypochlorinbildungen legt die Vermuthung nahe, dass es dieser ölige Stoff ist, welcher die Hypochlorin-Ausscheidungen bildet und diese Annahme stimmt auch mit den Erfahrungen über-

ein, welche die leichte Zerstörbarkeit des Hypochlorins in den grünen Geweben constatiren. Denn die beobachtete Ansammlung des Oeles in den grossen Vacuolen und das Verschwinden desselben und seine Aufnahme in das Protoplasma der Hautschicht, schon wenn geringe mechanische oder thermische Einflüsse auf die Chlorophyllbänder der Spirogyren stattfinden, liefert ein Verständniss für die Fälle, in welchen eine Störung oder ein Ausbleiben der Hypochlorin-Reaction beobachtet wird, und erklärt namentlich vollständig das auffallende Verhalten erwärmter grüner Gewebe, wenn sie mit Salzsäure behandelt werden.

Denn die Hypochlorin-Reaction, welche die Salzsäure in den frischen Geweben hervorruft, unterbleibt in den erwärmten Geweben jedesmal regelmässig und vollständig, wenn nur die Dauer der Erwärmung und die Höhe der Temperatur für die speciell untersuchten Gewebe genügt.

Bei Mesocarpus scalaris z. B., einer Pflanze, deren Zellen gewöhnlich äusserst reich an Hypochlorin sind (Taf. XVII. Fig. 1), genügt schon die mässige Erwärmung auf 42–43° C. während der Dauer von 5 Minuten, um das Hypochlorin völlig verschwinden zu machen, d. h. Mesocarpus-Fäden, welche vorher 5 Minuten lang auf 42° bis 43° C. erwärmt werden, zeigen, wenn sie nachher in der gewöhnlichen Weise mit Salzsäure behandelt werden, keine Spur mehr von jenen braunen Ausscheidungen, die sie bei Behandlung mit Salzsäure im frühsten Zustande, in so grosser Anzahl aufweisen. Dasselbe gilt auch für Cladophora. Die Zellen lebhaft vegetirender Exemplare dieser Alge sind nach Behandlung mit Salzsäure von den ausgeschiedenen Hypochlorinmassen oft wie übersäet (Taf. XIII. Fig. 5, 6). Nach einer Erwärmung von 5—15 Minuten in Wasser von 50° C., wobei der Zelleninhalt in Farbe und Form wesentlich unverändert erscheint, zeigen sie bei Behandlung mit Salzsäure keine Hypochlorinbildungen mehr.

Aehnlich verhalten sich, wie es scheint, alle Algen ohne eigentliche Chlorophyllkörner, so namentlich Spirogyren, Ulotricheen, Coleochaeteen, Oedogonien u. s. w.; bei ihnen genügt immer eine mässige Erwärmung auf 45° bis höchstens 50° zur Störung der Hypochlorin-Reaction. Dasselbe findet aber auch bei den Pflanzen mit eigentlichen, gut begrenzten Chlorophyllkörpern statt. Bei Nitellen, Charen

und selbst bei manchen höheren Gewächsen mit zartem Laube, z. B. bei Elodea, Callitriche u. s. w. fehlen die Hypochlorin-Bildungen durchweg oder fast durchweg, wenn sie vor dem Hinzufügen der Salzsäure auch nur kurze Zeit, eine viertel bis eine halbe Stunde, in Wasser von 50° C. erwärmt werden; doch muss erwähnt werden, dass bei diesen Pflanzen, und selbst bei Spirogyren, nach dieser Behandlung noch hier und da eine oder die andere Zelle oder Gewebspartie noch etwas Hypochlorin zeigen kann.

Andere Pflanzen bedürfen zur Zerstörung des Hypochlorins in ihnen schon eine höhere Temperatur oder eine längere Erwärmung.

So genügt, um noch einige Beispiele anzuführen, die Erwärmung auf 50° C. während 15 Minuten noch bei Fontinalis, aber nicht mehr bei Mnium, bei jungen Farnwedeln, bei Selaginellen, bei Vallisneria. Bei diesen Pflanzen muss man die Erwärmung bei 50° C. länger fortsetzen, oder eine höhere Temperatur von 60° bis 80° C. anwenden, oder sie kurze Zeit in Wasser aufkochen, oder den Dämpfen von siedendem Wasser aussetzen.

Worin diese Unterschiede begründet sind und warum bei dem einen Gewebe das Hypochlorin in den Chlorophyllkörpern leichter, bei anderen schwerer durch Wärme zerstört wird, konnte ich bisher noch nicht sicher ermitteln. Es ist aber gewiss, dass man bei vielen Pflanzen das Hypochlorin durch Erwärmung schon weit unter dem Siedepunkt des Wassers zum Verschwinden bringen kann. Und in den Fällen, wo dies unter diesen Umständen noch nicht gelingt, wird es doch sicher erreicht durch ein kurzes Aufkochen der Gewebe im Wasser oder durch die Behandlung derselben mit den Dämpfen von kochendem Wasser. Und zwar genügt es schon, die Gewebe etwa 15 Minuten lang den Dämpfen des Wassers auszusetzen. Doch habe ich oft die Behandlung länger, etwa eine halbe oder eine ganze Stunde und noch länger, fortsetzen müssen, bis der Zweck völlig erreicht war.

Das Hypochlorin verschwindet daher, wie man sieht, durch warmes Wasser, oder durch heisse Wasserdämpfe aus den Chlorophyllkörpern und dies geschieht ohne Beeinträchtigung des Farbstoffes und ohne wesentliche Störung der Chlorophyllkörper. Denn der Farbstoff der Chlorophyllkörper und auch die Form derselben — die letztere,

wenn nicht zu hohe Temperaturgrade angewandt werden — bleiben hierbei intact.

Die Erscheinungen, welche ich bei der Erwärmung grüner Gewebe und ihrer Behandlung mit Salzsäure an den Chlorophyllkörpern aufgefunden habe, stehen daher nach meiner Auffassung in folgendem Zusammenhang.

Werden die frischen Gewebe mit Salzsäure behandelt, so trennt sich ein ölartiger Stoff, den ich Hypochlorin nenne, von der Grundsubstanz und tritt in Form gerinnender, rostfarbiger Massen, die später krystallinische Gestaltung gewinnen, aus den Chlorophyllkörpern heraus (Taf. XXV. Fig. 7, 10, 11, 12). Hierbei quillt gleichzeitig auch ein Theil des Farbstoffes an seinen Träger gebunden, und mit den Hypochlorinmassen vereinigt aus ihnen hervor. Werden dagegen dieselben Gewebe mit Wasser erwärmt, so quellen aus den Chlorophyllkörpern nur die an Masse bedeutend geringeren, grünen Tropfen hervor (Taf. XXV. Fig. 2, 13, 14), welche blos aus dem Farbstoff und seinem Träger bestehen, aus denen daher niemals jene krystalloidischen Bildungen entstehen, welche an den durch Salzsäure hervorgerufenen Ausscheidungen sich bilden. Denn das Hypochlorin wird durch die Erwärmung in den Chlorophyllkörpern zerstört. Werden daher die erwärmten Gewebe auch nachträglich noch mit Salzsäure behandelt (Tafel XXV. Fig. 8, 15, 16), so treten doch keine wesentlichen Veränderungen an den erwärmten Chlorophyllkörpern mehr auf. Es ändert sich nichts mehr, weder an der Grundsubstauz noch an den ausgeschiedenen Tropfen. Diese nehmen auch jetzt keine krystallinische Gestaltung an, gewinnen höchstens unter dem Einflusse der Salzsäure einen etwas veränderten Farbenton und werden etwas bräunlicher. Aber auch aus der Grundsubstanz tritt nicht, wie man etwa glauben könnte, jetzt noch nachträglich, durch die Einwirkung der Salzsäure veranlasst, das krystalloidische Hypochlorin hervor. Es ist dasselbe durch die Erwärmung zerstört und deshalb nicht mehr, weder in den ausgeschiedenen Tropfen noch in der Grundsubstanz zu entdecken.

Nicht blos Wärme, auch andere schädliche Einflüsse, welche die normale Beschaffenheit des Zellinhalts nur wenig verändern, zerstören schon das Hypochlorin in den Chlorophyllkörpern. Es kann dies selbst geschehen ohne jede sichtbare Veränderung in der Beschaffen-

heit der Chlorophyllkörper. In Zellen, die solche Einflüsse erfahren haben, kommt daher die Hypochlorin-Reaction an den Chorophyllkörpern nicht zur Erscheinung.

Zellen in solch abnormen, oder krankhaften Zuständen findet man leicht an cultivirten Spirogyren und Nitellen. Auch lassen sie sich absichtlich hervorrufen. Cultivirte Spirogyren leiden häufig in der Cultur, auch wenn sie nicht gerade von Parasiten angegriffen werden. Die Zeichen beginnender Erkrankung machen sich früh an den grünen Chlorophyllbändern bemerkbar. Diese verlieren ihre Randfigurationen, contrahiren sich stellenweise und zerfallen, wenn die Krankheit weitere Fortschritte macht, in einzelne unförmliche Partien. Häufig sind dies nur Zeichen einer schlechten Ernährung. Hierbei erleidet die Farbe der Bänder nicht die geringste Beeinträchtigung und auch die bekannten Einschlüsse derselben, Amylumheerde und Fetttropfen, können hierbei ungestört fortbestehen. An demselben Spirogyra-Faden können viele Zellen noch ganz gesund sein, während andere schon alle Grade der Erkrankung zeigen.

Behandelt man nun solche Spirogyren-Fäden, an denen einzelne Zellen derartige leichte Abnormitäten der Bänder aufweisen, mit Salzsäure (Taf. XXIII. Fig. 1), so treten die Hypochlorinbildungen nur in den vorher gesunden Zellen (a a) auf, in den erkrankten dagegen fehlen sie, auch wenn nur geringe Abnormitäten der Bänder vorliegen, entweder ganz, oder es finden sich nur Spuren von ihnen vor.

Aehnliche Erscheinungen lassen sich an Nitellen beobachten.

Durchschnittene Nitellazellen — Blattsegmente und Internodien — zeigen, wenn sie sofort mit Salzsäure behandelt werden, die Hypochlorinbildungen in regelmässiger Weise an allen oder an vielen Chlorophyllkörpern (Taf. XXI. Fig. 1; Taf. XXIV. Fig. 3 unten). Wird aber die Salzsäure hinzugefügt, nachdem die Verletzung schon längere Zeit bestand, so fehlen sie, wenigstens häufig. Auch in unverletzten Zellen fehlen sie, wenn diese sich in einem abnormen Zustande befinden, so zum Beispiel, wenn der Inhalt sich spontan contrahirt hat. Die Chlorophyllkörper der Nitella-Zellen mit contrahirtem Plasmaschlauche (Taf. XXIII. Fig. 2a) können hierbei sowohl in ihrer Farbe, als auch in ihrer Form völlig intact

sein und doch findet man an ihnen nach Behandlung mit Salzsäure keine Spur von Hypochlorin, obgleich alle benachbarten Zellen (Taf. XXIII. Fig. 2b) desselben Blattes und des ganzen Sprosses, zu dem es gehört, in normaler Weise reichlich Hypochlorinbildungen an ihren Chlorophyllkörpern aufweisen.

Solche Zustände der Zellen lassen sich endlich, namentlich leicht an Spirogyren, absichtlich erzeugen, wenn man diese empfindlichen Pflanzen unter ungünstigen Lebensbedingungen cultivirt.

Ich habe schon angeführt, dass sich ausnahmsweise hin und wieder auch an hypochlorinreichen Geweben Zellen finden, in denen, obgleich sie keine auffallenden Krankheitserscheinungen zeigen, die Hypochlorin-Reaction mit Salzsäure dennoch unterbleibt (z. B. Taf. XIV. Fig. 8). Es ist nun allerdings nicht ausgeschlossen, dass solche Zellen ganz normale und gesunde Zellen sind, in welchen das Hypochlorin nur im Stoffwechsel verbraucht und noch nicht wiedererzeugt ist; allein es ist nicht unwahrscheinlich, dass in vielen hierher gehörigen Fällen die Zellen sich doch schon in einem abnormen Zustande befinden, der äusserlich nur nicht erkennbar, aber durch den Verlust des Hypochlorins schon nachweisbar wird.

Die hier dargelegten Thatsachen führen daher zu der Annahme, dass in den Chlorophyllkörpern allgemein verbreitet ein flüssiger, ölartiger Stoff vorkommt, der neben dem Farbstoff und seinem Träger als ein selbständiger Körper in ihnen besteht, und ebenso, wie er in ihnen gebildet wird, bei seinem Verbrauche im Stoffwechsel auch wieder aus ihnen verschwinden kann.

Wie derselbe nun in den Chlorophyllkörpern selbst sich zu der Grundsubstanz verhält und in ihr verbreitet ist, lässt sich gewöhnlich in den normalen grünen Chlorophyllkörpern nicht direct wahrnehmen; doch geben hierüber die bereits im Eingange besprochenen Structurverhältnisse der Chlorophyllkörper, auf die ich jetzt zurückkommen muss, einige Anhaltspunkte.

Die Grundsubstanz der Chlorophyllkörper erscheint, wie schon erwähnt wurde, nach Erwärmung oder Behandlung mit Salzsäure in ihrer Masse differenzirt (Taf. XX. u. XXV.). Diese Beschaffenheit tritt an ihr um so deutlicher und schärfer hervor, je mehr sie von dem Farbstoff und dem vorhandenen Hypochlorin befreit ist (Taf. XXV. Fig. 1; Taf. XXIV. Fig. 5, 6, 7, 8, 9). Am besten geschieht

dies, wenn man den Chlorophyllkörpern abwechselnd durch Erwärmung im Wasserdampf und durch Behandlung mit Salzsäure den Farbstoff und das Hypochlorin völlig entzieht.

Da das Hypochlorin mit den Lösungsmitteln des Chlorophyllfarbstoffes mischbar ist, und durch dieselben daher gleichzeitig mit dem Farbstoff extrahirt wird, so kommt die gleiche Structur der Grundsubstanz auch zum Vorschein, wenn man die Chlorophyllkörper durch längere Behandlung mit Alkohol, oder mit anderen Lösungsmitteln vollständig entfärbt. Endlich auch dann, wenn man die Körper, welche von den Lösungsmitteln aufgenommen werden, durch intensives Licht, wie ich dies in einem folgenden Abschnitte dieses Aufsatzes ausführlich nachweisen werde, noch in den Chlorophyllkörpern selbst zerstört.

In allen diesen Fällen bleibt die Grundsubstanz in derselben Form und Beschaffenheit zurück, und gerade der Umstand, dass diese verschiedenen Behandlungsweisen, durch Wärme, durch Salzsäure, durch Lösungsmittel, durch Licht ganz ohne Einfluss auf die Erscheinung sind, zeigt offenbar, dass in dem Bau der entfärbten Chlorophyllkörper sich die normale Structur und Organisation derselben im natürlichen Zustande ausdrückt.

Um dieselbe deutlich zu erkennen, bedarf es guter und starker Immersionslinsen. Soviel ist leicht zu sehen, dass die Grundsubstanz der Chlorophyllkörper keine structurlose, gleichartig homogene Substanz darstellt. Man könnte nach einigen Bildern, die man erhält (Taf. XXIV. Fig. 6), versucht sein, anzunehmen, dass sie von einer gleichmässigen, weicheren Substanz gebildet wird, in welcher dichtere Elemente, Körperchen oder Stäbchen, etwa wie in manchen Zuständen ruhender Zellkerne, eingebettet sind. Doch erhält man an guten Präparaten und in den Fällen, in welchen die Zeichnung am schärfsten erscheint (Taf. XXIV. Fig. 5, 7, 9), den bestimmten Eindruck eines von Höhlen durchsetzten Gebildes von gleichsam siebförmiger Structur; und an der Peripherie der erwärmten, oder mit Salzsäure behandelten Chlorophyllkörper (Taf. XXV.) lässt sich fast regelmässig hier und dort direct wahrnehmen, dass die austretenden grünen Tropfen und die rostbraunen Massen noch hier und da in diese Höhlen oder Lücken der porösen Substanz hineinragen und

dass sie aus diesen, wie aus den Maschen eines Netzes hervorgetreten sind.

Die feste Grundsubstanz der Chlorophyllkörper, die ihre Form bestimmt, bildet daher ein schwammförmiges Gerüste, welches im normalen Zustande von dem ölartig-flüssigen Träger des Farbstoffes und dem Hypochlorin durchtränkt ist. In den Fällen, in welchen bereits feste secundäre Einlagerungen, z. B. Stärkekörner, im Chlorophyllkorn auftreten (Taf. XXIV. Fig. 8), kann man sich durch geeignete Färbungsmittel noch überzeugen, dass das schwammförmige Gerüste nur den peripherischen Theil des Gebildes ausmacht, dass, mit andern Worten, die Chlorophyllkörper eigentlich Hohlkörper mit netzartig durchbrochener Hülle darstellen, in deren Innerem die secundären Bildungsproducte als fremdartige Einschlüsse abgelagert werden. Denselben schwammförmig-porösen Charakter der Grundsubstanz zeigen endlich, wie ich noch hier bemerken will, ebenso schön oder noch schöner als die Chlorophyllkörper, jene grösseren zusammenhängenden Chlorophyllmassen, Chlorophyllbänder und Chlorophyllplatten von Spirogyren, Mesocarpus, Closterium u. s. w., die dort die Chlorophyllkörper vertreten.

Offenbar ist die hier nachgewiesene Organisation der Chlorophyllkörper ihrer Function vorzüglich angepasst, denn ihr eigenthümlicher, poröser Bau und die Durchtränkung der schwammförmigen Substanz mit einem leicht verharzenden Oele macht die Chlorophyllkörper zu besonders geschickten Organen für die Gasaufnahme, namentlich aber für die Condensation und Bindung des Sauerstoffes.

In Bezug auf den Nachweis der hier mitgetheilten Thatsachen sei zum Schlusse noch bemerkt, dass die Salzsäure durchaus nicht das einzige Mittel ist, um das Hypochlorin von der Grundsubstanz zu trennen und die Hypochlorin-Ausscheidungen an den Chlorophyllkörpern hervorzurufen. Auch andere Säuren, Schwefelsäure, Pikrinsäure, Essigsäure bewirken in vielen Fällen das Gleiche. Allein diese Säuren verlangen bei ihrer Anwendung mehr Vorsicht und die Resultate, die man erhält, sind unsicher. Im concentrirten Zustande sind sie wegen ihrer eingreifenden Nebenwirkungen nicht anwendbar und es muss daher für jeden besonderen Fall die richtige Concentration und die Dauer der Einwirkung durch Vorversuche ermittelt werden. Schon deshalb erhält man bei ihrer Anwendung nicht so

reinliche und brauchbare Präparate, wie bei Anwendung von Salzsäure. Nichtsdestoweniger haben mir hin und wieder die folgenden Concentrationen: 1 Vol. Pikrinsäure auf 3 bis 6 Volumina Wasser; 1 Vol. Eisessig auf 2 bis 4 Vol. Wasser; und sehr verdünnte Schwefelsäure, etwa 1 Vol. Schwefelsäure auf 20 bis 40 Volumina Wasser, entschiedene und deutliche Resultate geliefert.

Aber auch ohne Anwendung von Säuren findet man häufig in alten Präparaten das Hypochlorin gleichsam spontan oder vielmehr unter Einwirkung der Conservirungsflüssigkeit aus den Chlorophyllkörpern hier und da hervorgequollen. So fand ich dasselbe bei Durchsicht mehrerer Jahre alter Präparate, die in Hantz'scher Flüssigkeit, in verdünntem Glycerin, in Chlorcalcium lagen, vereinzelt an den Chlorophyllkörpern einiger Zellen ausgeschieden.

Diese Fälle genügen jedenfalls, um zu zeigen, dass diese Erscheinung kein specifisches Resultat der Salzsäure-Wirkung ist und da diese Säure ein unfehlbares Mittel ist, die Erscheinung in der leichtesten und bequemsten Weise hervorzurufen, habe ich die Bedingungen nicht weiter verfolgt, die für die sichere Hervorrufung der Erscheinung durch andere Reagentien eingehalten werden müssen.

Nebenbei sei auch noch erwähnt, dass in manchen Fällen Eisessig in der Concentration 1 Vol. Essig auf 2 Volumina Wasser ein sehr brauchbares Mittel ist, um die siebförmige Structur der Grundsubstanz prächtig zur Erscheinung zu bringen.

II. Ueber eine Methode microscopischer Photochemie.

Ich lasse meinen Untersuchungen über Lichtwirkung in der Pflanzenzelle eine Beschreibung der Methode vorangehen, mit welcher sie ausgeführt sind.

Ich beabsichtigte mit derselben photochemische Wirkungen auf organische Gebilde direct unter dem Microscope an microscopischen Präparaten hervorzurufen und dieselben gleichzeitig zu beobachten. Ich hoffte auf diesem Wege die Wirkungen des Lichtes auf den Inhalt der Pflanzenzelle unmittelbar zur Anschauung zu bringen.

Nach den Resultaten, die ich erhielt, halte ich diese Methode in der That auch für vollkommen geeignet, um die Licht- und Wärme-Absorptionen der einzelnen Bestandtheile der Zellen und Gewebe kennen zu lernen und die Vorgänge festzustellen, welche die Sonnenstrahlen im Inneren der Pflanzengewebe anregen.

Auch für die Kenntniss des Gaswechsels im weissen und farbigen Lichte bildet diese directe photochemische Methode eine wesentliche Ergänzung und Erweiterung der bisher geübten gasanalytischen Methode und gestattet eine richtigere und vollständigere Deutung der über die Athmung der Gewächse gewonnenen Erfahrungen.

Denn auch die genaueste qualitative und quantitative Controle der eingeathmeten und ausgeathmeten Luft giebt keinen directen Aufschluss über den Antheil, welchen die einzelnen Zellbestandtheile an den Vorgängen nehmen. Anders, wenn die chemischen Wirkungen des Lichts durch Bestrahlung der Zelle unter dem Microscope unter Bedingungen erzeugt werden, die eine rasch eintretende Wirkung hervorrufen und deren Abänderung in der Hand des Beobachters liegt. Anstatt dieselben auf Umwegen aus der Beschaffenheit der Gasgemenge bei der Athmung zu erschliessen, lassen sie sich unmittelbar an den Veränderungen studiren, welche der Zellinhalt unter dem Auge des Beobachters erleidet. Durch geeignete Variation der Versuche kann man dann ferner die Bedingungen feststellen, unter welchen überhaupt photochemische Wirkungen in der Pflanzenzelle eintreten und ausbleiben, und auch die besonderen Körper bestimmen, an welchen sie eintreten.

Die Berechtigung dieser Methode, so fremdartig sie auf den ersten Blick gegenüber der gewöhnlichen Weise microscopischer Beobachtung erscheint, ergiebt sich aus ihren Resultaten und ist an sich klar, sobald man, wie es auch die Versuche nachweisen, voraussetzt, dass photochemisch empfindliche Substanzen im Zellinhalte vorhanden sind.

Es muss daher die photochemische Wirkung auch im Inneren der Zelle an den Veränderungen ihres Inhalts direct beobachtet werden können, und es kommt nur darauf an, genügend hohe Lichtintensitäten anzuwenden, um einen raschen und in die Augen fallenden Erfolg zu erzielen.

Versuche mit intensivem Lichte an Pflanzen waren ausserdem schon mit Rücksicht auf die bisherigen Versuche im farbigen Lichte wünschenswerth. Denn es erschien mir als ein fühlbarer Mangel in den vorhandenen Versuchen über die relative Energie der Spectralfarben im Gaswechsel der Pflanzen, dass sie bisher ausschliesslich mit niedrigen und nur ungenügenden Lichtintensitäten ausgeführt waren.

Offenbar befinden sich die Pflanzen, die hinter farbigen Schirmen wachsen, gegenüber ihren normalen Bedingungen in relativer Dunkelheit und dies gilt, was nicht übersehen werden darf, auch bezüglich der Farbe, deren Wirkung man untersuchen will. Die erhaltenen Ergebnisse entsprechen daher nur den Wirkungen geringer Lichtintensitäten und ihnen fehlt, wie der Mangel der Uebereinstimmung bei den verschiedenen Experimentatoren zeigt, auch jene Evidenz, welche unmittelbar eintretende, augenfällige Wirkungen in dem Beobachter hervorrufen.

Am fühlbarsten wird aber dieser Umstand gerade bei den sogenannten chemischen, den blauen und violetten Strahlen, von denen man allgemein annimmt, dass sie nur bei den heliotropischen Phänomenen wirksam sind, den Gaswechsel der Vegetation aber nur wenig oder gar nicht beeinflussen.

Denn alle farbigen Schirme und Flüssigkeiten, die man anwandte, um sogenanntes monochromatisches, blaues und violettes Licht zu erzeugen — blaue Gläser und genügend concentrirte Lösungen von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak — sind ungemein dunkel. Sie lassen im Tageslicht und im gewöhnlichen Sonnenlicht ein Licht von sehr geschwächter Intensität hindurch, welche bedeutend geringer ist, als die der entsprechenden, im Sonnenlichte direct wirksamen Farbe, deren Effect doch untersucht werden soll.

Bei den angewandten grünen und gelben Schirmen — Lösungen von Chlorkupfer und Kalibichromat, oder grünen Gläsern — ist dies in geringerem Grade der Fall, wie schon die unmittelbare, physiologische Empfindung ihrer Helligkeit erkennen lässt, die, wenn auch kein absolutes, so doch immerhin ein gewisses approximatives Mass der Intensität abgiebt.

Die Intensität der Wirkung ist aber unzweifelhaft in den Versuchen mit bestimmten farbigen Schirmen von der Lichtstärke der

wirksamen Farbe abhängig und die auffallend geringen Wirkungen, die man bei den Versuchen im blauen Lichte erhielt, erklären sich deshalb zum grossen Theile schon aus der Undurchsichtigkeit der angewandten Schirme.

Hierzu kommt der unberücksichtigte Umstand, dass die blauen Strahlen, weil sie vorzugsweise, und stärker als die grünen und gelben, vom Chlorophyll absorbirt werden, auf die vom Chlorophyll geschützten Bestandtheile des Zelleninhalts, auch wenn man die Intensität der Bestrahlung gleichsetzt, doch nur mit einer geringeren Intensität zur Wirksamkeit gelangen.

Werden daher die Resultate bei den Versuchen im verschiedenfarbigen Lichte ohne Rücksicht auf die schützende Function des Chlorophyllfarbstoffs, die aus meinen Untersuchungen hervorgeht, beurtheilt, so gelangt man nothwendig zu Fehlschlüssen über die relative Energie der verschiedenfarbigen Strahlen im Sonnenlichte. Man muss deshalb, schon um die specifischen Chlorophyll-Absorptionen zu compensiren, bei den Versuchen im blauen Lichte höhere Lichtintensitäten in Anwendung bringen.

Einige Bedenken, welche die Anwendung von intensivem Licht noch erregen könnte, werden bei der Beschreibung der Methode und bei der Darlegung der gewonnenen Resultate ihre Erledigung finden.

Das einfachste Mittel auf microscopische Objecte während der Beobachtung derselben intensives Licht einwirken zu lassen, ist offenbar die Concentration der directen Sonnenstrahlen auf das Object mit Hülfe einer unter dem Tisch des Microscopes angebrachten Linse. Genügende Intensitäten erhält man leicht, wenn der Durchmesser der Linse gross genug ist und wenn das Object in die Ebene des Sonnenbildes gebracht wird, welche in der Brennweite der Linse vermittelst des gegen Sonne und Linse richtig gestellten Planspiegels erzeugt wird.

Die Bedingungen, welche ausserdem für die richtige Ausführung der Versuche nöthig sind, sind höchst einfach und ergeben sich von selbst. Sie sind folgende.

Man muss, um vergleichbare Resultate zu erhalten, die Objecte immer genau in der Ebene des Sonnenbildes, oder in bestimmten Entfernungen von der dasselbe entwerfenden Linse einstellen. Man muss ferner für die Versuche mit farbigem Lichte in bequemer

Weise verschiedenfarbige Schirme oder Flüssigkeiten in den Weg der Strahlen einschalten können. Ebenso muss man zur Vermeidung von höheren Wärmegraden, wo dies nöthig wird, auch passende Vorrichtungen zur Absorption der dunklen Wärmestrahlen — soweit dies eben angeht — anbringen können. Ferner muss die Möglichkeit gegeben sein, die Objecte während der Bestrahlung mit dem intensivem Lichte gleichzeitig verschiedenen Gasen und Gasgemengen auszusetzen. Die Einrichtung muss es daher gestatten, die Objecte in microscopischen Gaskammern unterzubringen. Und endlich muss, damit überhaupt eine microscopische Beobachtung möglich sei, das Auge des Beobachters durch geeignete farbige Gläser, oder Rauchgläser von verschiedener Schwärze, geschützt werden.

Diese Bedingungen sind leicht zu erfüllen and es sind verschiedene Einrichtungen denkbar, die ihnen genügen. Ich bin nach mancherlei Abänderungen bei der folgenden stehen geblieben, welche ohne zu grosse Complication den Zweck in bequemer Weise erfüllt.

Ich habe für diese photochemischen Versuche ein besonderes microscopisches Stativ von Schmidt und Haensch bauen lassen, welches im Allgemeinen die Form der alten Stative von Plössl und Schiek besitzt und ohne Schwierigkeit gestattet unter dem hoch angebrachten, beweglichen Objecttisch eine umfangreiche Linse und die nöthigen Absorptionsgefässe für Flüssigkeiten anzubringen. In seinen Dimensionen ist dasselbe, um dem Apparat die nöthige Festigkeit zu geben und wegen des Umfanges der das Sonnenbild entwerfenden Linse, noch grösser gehalten, als dies selbst bei den ältesten Microscopen von Schiek und Plössl üblich war. Die Grössenverhältnisse der Theile werden aus der Figur 2, Taf. XXVI. ersichtlich, welche das Microscop in $^1/_5$ der natürlichen Grösse wiedergiebt.

Ein dreiarmiger Fuss trägt die starke, etwas conische Säule, welche in der Höhe von 21 Centimeter über dem Fuss einen festen, grossen, 1 Centimeter starken, unbeweglichen und in der Mitte durchbohrten Tisch, c, trägt, in dessen mittlerer mit einer Schraubenmutter versehenen Oeffnung, die Linse, l, eingeschraubt ist, welche das Sonnenbild entwirft. Von diesem Tisch erhebt sich die dreieckig-prismatische, mit 2 Trieben, t, t, versehene Zahnstange, z, an welcher der eigentliche, hier bewegliche Objecttisch, o, und der Tubus

des Microscopes vermittelst ihrer zugehörigen Triebe auf und ab bewegt werden und in beliebiger Höhe über dem festen Tisch, c, der die Linse trägt, eingestellt werden können. Eine Micrometerschraube, m, ausserhalb am Tubus angebracht, ermöglicht noch die feinere Einstellung des Sonnenbildes. Der Spiegel, s, welcher einen Durchmesser von 16 Centimeter hat, ist $16^1/_2$ Centimeter unterhalb des festen Tisches für die Linse angebracht und empfängt die Sonnenstrahlen von einem Heliostaten, dessen Spiegel, Fig. 7, die nöthige Grösse haben muss, um den Spiegel des Microscopes bei jeder Sonnenhöhe voll zu beleuchten.

Die Linse, welche das Sonnenlicht entwirft, braucht nicht achromatisch zu sein, schon weil die meisten Versuche doch mit gewissermassen einfarbigem Lichte gemacht werden. Diejenige, die ich gewöhnlich anwende, ist ein Doublett aus zwei planconvexen Linsen bestehend, die in ihrer gemeinsamen Fassung 28 mm. von einander abstehen. Die untere hat eine Oeffnung von 66 mm. und eine Brennweite von 93 mm., die obere eine Oeffnung von 48,4 mm. und eine Brennweite von 35 mm. In ihrer Combination entwerfen sie bei vollkommener Spiegelung ein gut umschriebenes rundes Sonnenbild, welches am Rande nicht störend gefärbt ist, von 0,35 mm. im Durchmesser.

An dem unteren Ende ihrer Fassung ist diese Linse noch mit einer Schraubenmutter versehen, vermittelst welcher sich eine Scheibe anschrauben lässt, die 2 federnde Klemmen, k, trägt. Die absorbirenden Mittel zur Gewinnung einfarbiger Sonnenbilder und zur Abhaltung der dunklen Wärmestrahlen lassen sich nun entweder mit Hülfe der obengenannten federnden Klemmen unterhalb der Linse anbringen und festhalten, oder, wenn man will, nach Bedürfniss und Bequemlichkeit oberhalb derselben auf dem festen oder beweglichen Tisch, z. B., wenn dies nöthig sein sollte, die Absorptionsgefässe für die dunklen Wärmestrahlen unterhalb der Linse und die farbigen Flüssigkeiten oder Schirme zur Erzeugung des Sonnenbildes oberhalb derselben u. s. w.

Als Gefässe zur Aufnahme der Flüssigkeiten wendet man bekannter Weise am besten 2 durch einen beliebig dicken Glasring getrennte plangeschliffene Glasscheiben an, die von Gummiringen zusammengehalten werden (Fig. 4). Diese so hergerichteten Absorptions-

apparate werden von den federnden Klemmen unterhalb der Linse leicht festgehalten.

In manchen Fällen ist es bequemer, an Stelle dieser Absorptions-Apparate die kleinen Fläschchen mit eingeriebenem Glasstöpsel (Fig. 5), wie sie Desaga seinen Spectralapparaten beigiebt, zu benützen. Obgleich sie nicht ganz so reine und scharfe Bilder geben, wie die vorher genannten Apparate, so genügen sie doch bei vorsichtigem Gebrauch vollkommen für den vorliegenden Zweck. Doch lassen sie sich nicht in den Dimensionen herstellen, um sie unterhalb der Linse, die ja ganz von ihnen bedeckt werden müsste, anzubringen. Die grössten, die mir Greiner und Friederichs in Stützerbach in Thüringen anfertigten, sind 27 mm lang, ebenso breit und $8^1/_2$ bis 9 mm. hoch. Sie erlauben, Flüssigkeitsschichten von 5 bis 6 mm. Dicke anzuwenden, die vollkommen ausreichen. Legt man sie auf den beweglichen Tisch des Microscopes über dessen mittlerer Oeffnung, so sind sie gerade gross genug, um bei meiner Vorrichtung den ganzen Lichtkegel aufzunehmen, der aus der Linse austritt. Damit der Objectträger, oder die Gaskammer mit dem Versuchsobjecte, nicht unmittelbar auf diese Fläschchen zu liegen kommt, kann man dieselben durch einen Glasring von passender Höhe unterstützen. Für Versuche mit Gasen benütze ich bei diesen Experimenten im intensivem Licht an Stelle der gewöhnlichen gläsernen Gaskammern, die hier aus mancherlei Gründen unbequem sind, niedrige Metallkästen, deren unterer Boden von einer eingekitteten Glasplatte gebildet wird und deren Deckel in der Mitte eine Oeffnung besitzt, welche durch ein innen angekittetes Dickglas verschlossen ist. Der Deckel wird beim Gebrauche gut verschmiert und durch angebrachte Klammern und Schrauben genügend angepresst. Diese Gaskästen (Fig. 3) haben mir gleichfalls Schmidt und Haensch in Berlin angefertigt.

Bei den Versuchen im intensiven Licht beschlägt aber häufig, wenn die Gase durchgeleitet werden, der Boden der Gaskammern und wird undurchsichtig. Das Bild wird hierdurch schon nach kurzer Zeit undeutlich und der Versuch wird unausführbar. Um dies zu vermeiden, muss man den Boden der Gaskammern mit einer Wasserschicht bedecken. Zu dem Ende habe ich, um das Durchströmen der Gase nicht zu hindern, auf diesem Glasboden der Kammer

seine Mitte umziehend, einen Lackrahmen von passender Grösse angebracht, dessen innerer Raum mit der möglichst ebenen Wasserschicht bedeckt wird. — Durch Vorschieben und Wegnahme eines Schirmes, Fig. 8. der vor dem Spiegel des Microscopes aufgestellt, die leuchtenden Strahlen empfängt, können die Versuche jeden Augenblick unterbrochen und bei unveränderter Lage des Versuchsobjects und der Versuchsbedingungen wieder aufgenommen werden. Es ist dies nöthig, um die Wirkung unterbrochener und continuirlicher intensiver Beleuchtung vergleichen zu können und ist auch bequem, wenn man während der Versuche die Beschaffenheit des Objectes bei anderer Beleuchtung, als der des Versuches, controliren will, ohne das Object von seiner Stelle zu rücken. Hierzu genügt nach Vorschieben des Schirmes eine geringe Veränderung der Spiegelstellung des Microscopes gegen das Fenster und eventuell die Wegnahme des farbigen Absorptionsgefässes unter der Linse.

Die Gläser zum Schutze der Augen werden am besten in einer besonderen ocularartigen Fassung angebracht, die auf dem Ocular des Microscopes aufgelegt und leicht wieder weggenommen werden kann.

Die Versuche selbst werden folgendermassen ausgeführt.

Nachdem die farbigen Mittel angebracht, das Präparat hergestellt und auf den Objecttisch aufgelegt ist, wird zuerst, noch bevor das Versuchsobject sich im Gesichtsfelde befindet, durch richtige Stellung der beiden Spiegel des Heliostaten und des Microscopes, das Sonnenbild ins Gesichtsfeld gebracht.

Darauf werden nacheinander zuerst das Sonnenbild und dann das Versuchsobject, dieses, nachdem es ins Gesichtsfeld gerückt ist, scharf eingestellt. Die Einstellung des Sonnenbildes geschieht durch die Bewegung des Tubus, die Einstellung des Versuchsobjectes durch die Bewegung des beweglichen Tisches und man hat nur darauf zu achten, dass Sonnenbild und Versuchsobject gleichzeitig scharf gesehen werden. Ich gebrauche deshalb nur solche Vergrösserungen, die das Sonnenbild ganz zu überblicken gestatten und daher seine scharfe Einstellung ermöglichen.

Wenn alles Nöthige zur Hand ist, können diese Versuche ebenso schnell und leicht ausgeführt werden, wie jede gewöhnliche microscopische Beobachtung.

Es ist selbstverständlich, dass an dem Orte des Sonnenbildes eine bedeutende Wärmewirkung erzeugt wird, die zunächst ohne Gefahr für das Versuchsobject ist, weil sie vom Wassertropfen, in welchem das Object bei diesen Versuchen liegt, abgeleitet wird.

Nach und nach wird aber der Wassertropfen durch das kleine Sonnenbild doch so intensiv geheizt, dass seine Temperatur unter Umständen grösser werden kann, als es das betreffende Versuchsobject verträgt und dieses kann dann in Folge der hohen Temperatur des Wassertropfens, in dem es liegt, zu Grunde gehen oder beschädigt werden.

Man kann daher bei diesen Versuchen im intensiven Licht auf Erscheinungen stossen, welche Wirkungen der hohen Temperatur im Wassertropfen und nicht unmittelbare Wirkungen der Bestrahlung des Objectes durch das Licht sind. Es wird daher nöthig, die thermischen Wirkungen der Bestrahlung, die im Versuche eintreten können, von den photochemischen zu unterscheiden.

Es ist dies nicht immer ganz leicht, wenn man unter Bedingungen arbeitet, die eine zu grosse Erwärmung des Wassertropfens, in welchem das Object liegt, gestatten. Allein, man kann diese Bedingungen in zahlreichen Fällen ausschliessen und erhält dann unzweideutige photochemische Wirkungen in einer Zeit und unter Umständen, bei welchen die Temperatur im Wassertropfen keine schädliche Höhe erreichen kann.

Ich habe, um mich hiervon zu überzeugen, die Temperaturen, welche bei meinen Versuchen im Wassertropfen eintreten können, auf thermoelectrischem Wege und durch schmelzende Körper von bekanntem Schmelzpunkte zu bestimmen gesucht.

Es kommt hierbei darauf an, zu wissen, welche Temperatur im Versuchstropfen unter dem Microscope in der kurzen Zeit erreicht wird, in welcher während der Bestrahlung durch das Sonnenbild schon entschiedene Veränderungen wahrgenommen werden, also etwa in der Zeit von 5 bis 15 Minuten, welche völlig genügt, um bedeutende photochemische Wirkungen im Versuchsobjecte hervorzurufen.

Diese Temperatur hängt nun in erster Linie von der Farbe des intensiven Sonnenbildchens ab, durch welches der Tropfen geheizt wird, aber natürlich auch von der Grösse des Tropfens, von seiner anfänglichen Temperatur und von seiner Abkühlung während des Versuches.

Für die letztere kann man noch durch passende Objectträger Sorge tragen. Ich gebrauche hierzu anstatt der gläsernen metallene Objectträger, in deren Mitte zur Aufnahme des Objectes eine kleine Glasplatte eingelassen ist. Durch angebrachte metallische Arme, die (Fig. 3. Taf. XXVI.) über die Glasplatte hinweggreifen und sich zu einem Ringe verbinden, der im Versuchstropfen liegt, wird die metallische Leitung bis in die Mitte des Tropfens, welcher das Object enthält, fortgeführt. Legt man während des Versuchs auf diese Objectträger Eis und benützt sie, wie es die Figur zeigt, als Deckel der Gaskästen, die man beständig mit schmelzendem Eis gefüllt erhält, so kann man eine bedeutende und rasche Abkühlung des Tropfens, während er von dem Sonnenbildchen bestrahlt wird, erzielen.

Diese Vorsichtsmassregeln sind jedoch nur in seltenen Fällen nöthig; nur wenn man den Versuch im weissen und im warmen rothen Lichte anstellt und wenn man ihn eine längere Zeit ununterbrochen fortsetzen will. Denn bei dunklerfarbigem Lichte, in Versuchen mit grünen und blauen Sonnenbildchen, welche nur den kältesten Theil des Spectrums durchlassen, steigt bei meiner Vorrichtung auch ohne jeden Wasserschutz unter der Linse die Temperatur im Versuchstropfen in 15 bis 20 Minuten und länger nicht über 35° C., selbst wenn der Tropfen bei Beginn des Versuches eine Temperatur von 20 bis 25° C. besass. In diesen Fällen bedarf es daher keiner weiteren Mittel der Abkühlung, denn diese Zeit genügt unter allen Umständen übermässig zur Erreichung der ausgiebigsten und ausgedehntesten, photochemischen Wirkungen und diese Temperatur wird von allen Pflanzengeweben, auch den gegen Wärme empfindlichsten, ohne jeden Schaden ertragen. Diese Versuche in grünen und blauen Sonnenbildern sind daher auch entscheidend für die richtige Auffassung der Ursache der Erscheinungen, die bei der Bestrahlung in den Objecten eintreten.

Es mögen hier zur besseren Orientirung noch einige Notizen über die von mir gemachten Temperaturbestimmungen folgen, obgleich dieselben selbstverständlich nur für die Bedingungen Gültigkeit haben, unter welchen ich die Versuche angestellt habe.

Ich beschränke mich daher auf wenige Angaben.

Bei der thermoelectrischen Bestimmung der Wärme im Versuchstropfen wurde in der üblichen Weise die zusammengelöthete Spitze

eines Thermoelementes aus 2 feinen Dräthen von Eisen und Neusilber gerade so, wie sonst das microscopische Versuchsobject, in den Wassertropfen eingeführt und in dem betreffenden Sonnenbilde eingestellt. Die verlöthete Spitze war so klein, dass sie nahezu vollständig von dem Sonnenbilde getroffen wurde. Das Thermoelement war mit einem Galvanometer mit Spiegelablesung verbunden, dessen Ausschläge ihrem Wärmewerthe nach vorher empirisch bestimmt worden waren.

Für die Wärmebestimmung des Tropfens vermittelst schmelzender Körper wählte ich zwei Körper, deren Schmelzpunkte in den Grenzen der schädlichen Temperaturhöhe für Pflanzengewebe liegen. Nämlich Menthencampher, der bei 45° C. schmilzt und auf den mich Herr College A. W. Hofmann freundlichst aufmerksam machte, und Azoxybenzol, welches schon bei 35° C. schmilzt und welches mir Prof. Ladenburg in Kiel empfahl und für mich darstellen liess. Microscopische, krystallinische Splitter dieser Körper wurden mit den Objecten ins Sonnenbild gebracht und das Eintreten der Abschmelzung ihrer Ecken und Kanten beobachtet.

So fand ich, dass im weissen Sonnenbilde die Temperatur des Wassertropfens, ohne und mit Wasserschutz unter der Linse, schon in wenigen Minuten, in 1—3 Minuten, 45° C. und noch mehr erreichen konnte, wenn die anfängliche Temperatur des Wassertropfens die gewöhnliche Zimmertemperatur war, beiläufig etwa 20° C., und wenn keinerlei besondere Vorsichtsmassregeln für die Abkühlung des Tropfens getroffen waren. Für farbige Sonnenbilder, deren Temperaturwirkungen unter gleichen Bedingungen bestimmt wurden, führe ich hier nur diejenigen Bestimmungen an, welche zur Beurtheilung der photochemischen Resultate von besonderer Wichtigkeit sind, nämlich die Temperaturwirkungen der rothen, grünen und blauen Sonnenbilder, die ich vorzugsweise bei meinen Untersuchungen benutzte und deren Absorptionsspectra in Figur 1 Taf. XXVI. dargestellt sind.

In diesen rothen Sonnenbildern:

erzeugt durch eine 5 mm. dicke Schicht einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff von der optischen Concentration, welche vom ganzen sichtbaren Theil des Spectrums nur den Anfang, das Roth bis höchstens zur Wellenlänge von 0,00061 mm. und Spuren im Blau-Violett etwa von 0,00043

bis 0,00041 mm. Wellenlänge durchlässt — γ und δ Fig. 1 Taf. XXVI.

kann gleichfalls schon nach 3 bis 5 Minuten im Versuchstropfen eine unter Umständen und bei längerer Dauer der Einwirkung für Pflanzengewebe schädliche Temperatur von 45° C. erreicht werden. — Die Erscheinungen, die in diesen rothen Sonnenbildern an den Objecten beobachtet werden, können daher, ebenso wie die in weissen Sonnenbildern, verschiedener Deutung unterliegen. Sie können Wirkungen der Bestrahlung sein, aber auch Temperaturwirkungen des Tropfens können hier mitwirken.

Dagegen in grünen Sonnenbildern: — ζ, η, ϑ Fig. 2 Taf. XXVI. — erzeugt durch eine 5 bis 6 mm, dicke Schicht einer Lösung von Chlorkupfer von der optischen Concentration, bei welcher höchstens der mittlere Theil des Spectrums etwa von Wellenlänge 0,00060 mm. bis höchstens 0,00045 mm. durchgeht —

Ebenso in blauen Sonnenbildern: — ι, $\varkappa$ Fig. 2 Taf. XXVI. — erzeugt durch eine 5 bis 6 mm. dicke Schicht von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak von der optischen Concentration, die nur den stärker brechbaren Theil des Spectrums etwa von Wellenlänge 0,00051 mm. oder auch von Wellenlänge 0,00053 mm. an durchlässt,

erreicht auch bei langer Dauer des Versuches, wenn die Bestrahlung des Tropfens mit dem Sonnenbilde ununterbrochen 15 oder 20 Minuten und länger fortgesetzt wird, wie ich bereits oben anführte, die Temperatur des Tropfens keine höheren Grade als höchstens 35 bis 36° C., selbst wenn die anfängliche Temperatur des Tropfens schon 20 bis 25° C. betrug und keine besonderen Schutzmassregeln gegen die Wärme getroffen sind.

Die Erscheinungen, die mit diesen grünen und blauen Sonnenbildern im Objecte hervorgerufen werden, sind daher als directe Wirkungen der Bestrahlung anzusehen.

III. Lichtwirkung. Lichtstarre. Lichttod.

A. Allgemeine Orientirung über die Erscheinungen intensiver Lichtwirkung in der Pflanzenzelle.

Je nach der specifischen Energie, welche die verschiedenen Pflanzenzellen gegenüber der Einwirkung des Lichtes äussern, kann die Zeitdauer, bis zu welcher sichtbare Wirkungen in der bestrahlten Zelle eintreten, sehr verschieden sein.

In den meisten Pflanzenzellen jedoch, und ohne Ausnahme in allen grünen Zellen, treten bei der intensiven Lichtwirkung, die ich anwende, schon nach wenigen Minuten deutlich erkennbare Veränderungen in der Zelle ein. Man hat es ganz in der Gewalt, diese nur bis zu einem Grade zu führen, bei welchem trotz sichtbarer Umwandlungen im Zellinhalte das Leben der Zelle noch in keiner Weise gefährdet ist, oder sie bis zu eingreifenden Beschädigungen zu steigern, welche unmittelbar Lichtstarre und Lichttod nach sich ziehen.

Es giebt aber auch Zellen, namentlich nicht grüne Zellen, welche nur schwach auf Lichtwirkung reagiren und selbst im weissen concentrirten Sonnenlicht längere Zeit, eine halbe Stunde und länger, gegen die intensive Bestrahlung in meinem Apparate unempfindlich bleiben. So verhalten sich zum Beispiel auch farblose Schwärmzellen, die sonst sehr empfindlich gegen Wärmewirkung sind.

Diese Thatsache ist bezeichnend für die Beurtheilung der Erscheinung, denn sie zeigt schon, dass die bedeutende Wärmewirkung, die in dem Brennpunkte einer grossen Linse entsteht, von einer Zelle, die in einem Wassertropfen liegt, längere Zeit ohne Schaden ertragen werden kann und dass sie keineswegs immer zu einer nothwendigen Todesursache für die Zelle wird.

Um ein allgemeines Bild von der Erscheinung der Lichtwirkung zu geben, wähle ich als Beispiele Algen, Characeen, Moosblätter, Haare und zartere Blattgewebe von phanerogamischen Wasserpflanzen, bei welchen ganz allgemein die Wirkung der Bestrahlung schon in 2 bis 6 Minuten bemerkbar wird.

Bringt man die Zellen einer Spirogyra, z. B. von Sp. crassa, jugalis, quinina, Weberi, in das Sonnenbild, so ist die Erscheinung, welche sogleich in die Augen fällt, die völlige Zerstörung der grünen Farbe

der Chlorophyllbänder (Taf. XI. Fig. 1, 2, 3). Die Grundsubstanz der Bänder scheint dabei gar keine Veränderung erlitten zu haben, denn man sieht sie in ihrer Form, meist auch in ihrer Lage unverändert. Sogar die zackigen Randausbuchtungen der Bänder sind gewöhnlich völlig erhalten, und ebenso die Amylumheerde. Nur der Chlorophyllfarbstoff scheint verschwunden. Die insolirten Zellen machen vor näherer Untersuchung genau den Eindruck, als ob sie in Alcohol gelegen hätten. Aber die Entfärbung ist hier ganz local auf die insolirte Stelle beschränkt. Sie schneidet genau mit dem Rande des Sonnenbildes ab, wenn dieses scharf umschrieben war; eine geringere Wirkung macht sich über den Rand des Sonnenbildes hinaus nur bemerkbar, so weit vorhandene Zerstreuungskreise reichen.

Da man das Object nun beliebig weit in das Sonnenbild rücken kann, so ist dadurch die Möglichkeit gegeben, das Verhalten einzelner Zellenbestandtheile getrennt zu untersuchen. So kann man ein oder mehrere Windungen eines Spirogyra-Bandes, oder bei Zellen mit wahren Chlorophyllkörpern einige, oder auch nur ein einziges Chlorophyllkorn einer Zelle ins Sonnenbild bringen, während der übrige Theil der Zelle sich ausserhalb der Wirksamkeit desselben befindet. In solchen Fällen findet man dann auch innerhalb einer und derselben Zelle die Wirkung auf den vom Licht getroffenen Theil beschränkt. Derartig beschränkte Wirkungen zeigen viele der beiliegenden Abbildungen photochemisch entfärbter Zellen von Spirogyren (Taf. XI. Fig. 1—3); von Oedogonien (Taf. XII. Fig. 1); von Nitellen (Taf. XI. Fig. 11 u. 12, Taf. XII. Fig. 2, 4 u. s. w.). Es kann daher die eine Hälfte einer Windung eines Spirogyrabandes entfärbt sein, die andere noch grün (Taf. XI. Fig. 1b), oder die Mitte der Windung ist entfärbt, ihre in der Lage der Figur seitlichen Partien noch nicht (Taf. XI. Fig. 2), oder wie es oft bei sich kreuzenden Windungen der Fall ist, die Bänder sind entfärbt jedoch mit Ausnahme ihrer Kreuzungsstellen.

Die Wirkung des Lichtes ist aber nicht auf die Zerstörung des Farbstoffes beschränkt. Sie trifft auch den Zellinhalt und namentlich diejenigen Bestandtheile des Zellleibes, denen die Function der Athmung und Ernährung übertragen sind.

Gerade die Spirogyren sind vermöge ihrer ausgezeichneten Organisation, durch die Lage ihres Cytoblasten, durch die gesetzmässige

Anordnung der vom Centralplasma ausgehenden Stränge (Taf. XI. Fig. 8; Taf. XXIV. Fig. 4), von welcher bereits früher die Rede war, und durch die lebhafte Körnchenbewegung zwischen den Chlophyllbändern, vorzüglich geeignete Objecte, um die specifischen Wirkungen des Lichtes auf die Bestandtheile des Zelleninhaltes zu demonstriren.

Man sieht an ihnen unter dem Einfluss des Lichtes häufig schon vor, häufig erst nach vollendeter Entfärbung der Bänder weitgehende Störungen im Zellinhalte eintreten.

Die Körnchenbewegung in den wandständigen Protoplasmafäden, die zwischen den Windungen der Bänder von Rand zu Rand verlaufen, erlischt. Die Protoplasmastränge, die vom Centralplasma ausgehen, contrahiren sich und ziehen hiedurch oft die mittleren Windungen der Bänder tief in das Lumen der Zelle hinein (Taf. XI. Fig. 2).

Zugleich zieht sich ein Theil ihrer Substanz in das mittlere Centralplasma, in welchem der Cytoblast liegt, zurück, und dieses schwillt hierdurch zu einer grossen Blase an (Taf. XI. Fig. 1 h, i, k, 3), welche jetzt eine deutliche Membran von beträchtlicher Dicke an ihrem Umfange zeigt, die sogar meist 2 Conturen erkennen lässt. Dann aber reissen die Protoplasmastränge auch irgendwo durch, und man findet ihre gleichsam erstarrten Reste noch mit ihrem Ausgangspunkte, dem Centralplasma, in bleibender Verbindung, und von ihren Endpunkten, den Amylumheerden, herabhängen.

Während diese Veränderungen in den Protoplasmasträngen vorgehen, treten in ihnen ganz bestimmt begrenzte, kleine, bläschenartige Bildungen (Taf. XI. Fig. 9) auf, die unzweifelhaft morphologisch definirte Organe sind und von denen in der normalen, noch nicht insolirten Zelle hier und da, namentlich in den Gabelungsstellen der Protoplasmastränge, oft Spuren bemerkbar werden. Auch diese Bläschen ziehen sich mit der Substanz der Protoplasmastränge nach dem Centralplasma hin und bleiben hier an der Peripherie der aus diesem entstandenen Blase zurück (h i k Fig. 1 Taf. XI.), wo man sie später oft in grösserer Anzahl (Taf. XI. Fig. 10) anhaften findet. Diese merkwürdigen Bildungen, die ich „Plasmaknoten“ nennen will, treten übrigens in derselben Weise auch bei anderen Todesarten der Spirogyra-Zellen auf.

Durch die Contraction und das Zerreissen der Plasmastränge wird der Cytoblast aus seiner mittleren Lage verrückt, und man findet ihn später deplacirt, mehr oder weniger weit von seinem ursprünglichen Orte entfernt, irgendwo in der Zelle liegen, immer umgeben von dem zur Blase umgestalteten Centralprotoplasma (Taf. XI. Fig. 1, 3). Er selbst und sein Kernkörperchen behalten zwar mehr oder weniger ihre Form bei, aber in manchen Fällen, wenigstens bei einigen kleineren einspirigen Spirogyren, scheint auch ein Theil ihrer Masse verloren zu gehen, und in anderen Fällen gewinnt wieder die früher scheinbar homogene Substanz desselben ein körniges Aussehen, oder nimmt eine röthliche Farbe an (Taf. XI. Fig. 6, 7). — Auch der Turgor der insolirten Zellen ändert sich sichtlich und ebenso finden Veränderungen in der Substanz der Hautschicht statt, die häufig schon an ihrer Farbe erkennbar werden.

Viele dieser Veränderungen im Protoplasma sind offenbar bereits Todeserscheinungen der Zelle. Allein im vorliegenden Falle lässt sich nachweisen, dass sie die Folgen einer photochemischen, und zwar einer bestimmten photochemischen Wirkung des Lichtes sind. Auch bei anderen Todesursachen, beim Wärmetod und bei dem durch mechanische Ursachen bewirkten Tode der Zelle treten ähnliche, aber durchaus nicht immer in ihrem ganzen Verlaufe identische Erscheinungen auf. Einige der eintretenden Veränderungen sind specifische Erscheinungen des Lichttodes und diese combiniren sich mit den allgemeinen Veränderungen, welche nach dem Tode der Zelle, gleichviel aus welcher Ursache dieser erfolgt war, im Protoplasma sich zeigen.

Aehnliche Veränderungen, wie bei den Spirogyren, treten unter Berücksichtigung der abweichenden Organisationsverhältnisse, auch bei den anderen Algen mit sogenannten formlosen Chlorophyllmassen auf, z. B. bei Mesocarpus (Taf. XV. Fig. 10, 11), Oedogonien, Draparnaldien, Vaucherien u. s. w. Immer sieht man unter dem Einfluss des intensiven Lichtes neben der Zerstörung des Chloropyllfarbstoffes auch früher oder später im Protoplasma der Zellen, in ihrem Turgor, ihrer Hautschicht u. s. w. Veränderungen eintreten, die je nach der Dauer der Einwirkung bis zum gänzlichen Aufheben des Lebens der insolirten Zelle gesteigert werden können. Aber auch die Pflanzenzellen mit wahren Chlorophyllkörpern, Characeen, Moose,

Farn, Phanerogamen, zeigen dieselben Einwirkungen des Lichtes und hier bieten zunächst wieder die Characeen wegen der leichten Herstellung völlig unbeschädigter Präparate, dann aber auch wegen der ausgezeichneten Structurverhältnisse ihrer Zellen äusserst günstige Versuchsobjecte dar; besonders aber auch deshalb, weil die bedeutende Länge ihrer Zellen, oder Schläuche, es mit Bequemlichkeit gestattet, die Einwirkung des Lichtes auf einen zur Grösse der Zelle nur unbedeutenden Theil derselben zu beschränken.

Stellt man das kleine Sonnenbild von ungefähr ein Drittel Millimeter Durchmesser auf einen beliebigen Theil eines mehrere Millimeter langen, nicht zu dicken Nitella-Schlauches ein, so entfärbt sich die getroffene Stelle, wie bei den Spirogyren in wenigen, je nach der Dicke der Schläuche in 3 bis 8 Minuten, mehr oder weniger vollständig (Taf. XI. Fig. 11, 12; Taf. XII. Fig. 2a, b; Fig. 4).

Ganz unabhängig von der Entfärbung, soweit eben der Schutz des Chlorophyllfarbstoffs nicht in Betracht kommt, treten auch hier die Störungen im Zellinhalte auf. Sie können auch hier bis zum Tode der ganzen, nur an einer kleinen Stelle vom Licht getroffenen Zelle gesteigert werden. Man hat es bei richtiger Auswahl der Versuchszellen ganz in der Hand, ob der Tod der Zelle durch das Licht der vollständigen Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes an dieser beschränkten Stelle vorausgehen, oder erst der Zerstörung des Farbstoffes nachfolgen, oder endlich, ob die Zerstörung des Farbstoffes ohne jede weiteren schädlichen Folgen für das Leben der Zelle bleiben soll.

Es hängt dies nämlich ganz und gar von der specifischen Energie der Pflanze und von der Grösse und Dicke der Versuchszellen ab. Bei so dicken Zellen, wie sie die erwachsenen Blattzellen, oder gar die Internodial-Schläuche der Nitellen darstellen, deren Wandungen überdies mit einer so dichten und in ihrer Lage unveränderlichen Schicht von Chlorophyllkörpern bedeckt sind, kommen bei diesen Versuchen die Dimensionen der Zellen und der Schutz, den die Chlorophyllmassen in ihrer unveränderten Lage sich gegenseitig bieten, schon wesentlich in Betracht. Die Zelle liegt, je nach ihrer Einstellung entweder nur mit ihrer Unterfläche, oder mit einem ideal gedachten mittleren Querschnitt, oder mit ihrer Oberfläche genau in der Ebene des Sonnenbildes; die anderen Theile, theils oberhalb, theils unter-

halb der Ebene des Sonnenbildes gelegen, erfahren sehr verschiedene Grade der Einwirkung. Die an der unteren Wand befindliche Chlorophyllschicht schützt ausserdem bei der Lage des Objectes gegen das einfallende Licht, so lange ihr eigener Farbstoff nicht zerstört ist, die an der oberen Wand befindliche Schicht in hohem Grade vor der Entfärbung. Aus diesem Grunde erscheint auch an der oberen Wand der mittlere Theil der insolirten Stelle früher entfärbt, als die seitlichen Ränder (Taf. XI. Fig. 12; Taf. XII. Fig. 5), weil hier eine grosse Reihe von Chlorophyllkörpern übereinander liegen.

Diese Umstände machen sich natürlich auch bei den Spirogyren geltend, allein hier selbst bei den dickeren Spirogyren nur in geringerem Grade, schon wegen des geringeren Durchmessers der Zellen, aber auch deshalb, weil die unteren Windungen der Spiralbänder nur einen sehr unvollständigen Schutz für die oberen Windungen bilden. Doch findet man auch dort die oberen Windungen an den Kreuzungsstellen mit den unteren und namentlich am Rand der Zellwand, und an den Umbiegungsstellen in die unteren Windungen später entfärbt, als an ihren frei und ungeschützt der Einwirkung des Lichtes ausgesetzten Theilen.

Eine einfache und ungeschützte Lage von Chlorophyllkörnern, oder ein ungeschütztes Chlorophyllband — z. B. die Chlorophyllplatte von Mesocarpus senkrecht gegen ihre Fläche der Bestrahlung ausgesetzt — wird in sehr kurzer Zeit vom intensiven Lichte völlig entfärbt. In meinem Apparate oft in $1^1/_2$ bis 2 Minuten. Die an der oberen Wand eines Nitella-Schlauches befindlichen Chlorophyllkörper bedürfen unter gleichen Insolationsverhältnissen schon 5 bis 8 Minuten zu ihrer vollständigen Entfärbung.

Die Störungen, welche das Protoplasma und sein Inhalt, bei den Nitellen durch intensives Licht erleiden, hängen aber wieder nicht nur von dem Schutze ab, welchen ihnen bei der Lage des Versuchsobjectes der Farbstoff der unteren Chlorophyllschicht bietet, sondern ausserdem noch von der specifischen Energie der Species und ferner auch noch von der Länge der Versuchszelle. Denn da das Protoplasma des Nitella-Schlauches während des Versuches in beständiger, in ihrer Geschwindigkeit eine Zeit lang gesteigerten Strömung sich befindet, so steht das Protoplasma der Zelle in seiner Gesammtheit nur eine verhältnissmässig kurze Zeit unter der unmittelbaren Einwirkung der

Insolation, offenbar nur in dem Verhältnisse der Grösse der insolirten Stelle zur Grösse des ganzen Schlauches. Ausserdem findet hier nebenbei bemerkt, eine unterbrochene Lichtwirkung auf das Protoplasma statt, indem jeder einzelne getroffene Theil während der ganzen Dauer seiner Bewegung durch den nicht beleuchteten Theil des Schlauches vor der Lichtwirkung geschützt bleibt und immer nur beim Eintritt in die insolirte Stelle wieder von Neuem vom Lichte getroffen wird.

Die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes an der belichteten Stelle hängt daher bei Nitella-Schläuchen wesentlich nur von ihrer Dicke ab, während die Zerstörungen im Protoplasma dagegen auch von ihrer Länge abhängen.

Hiernach können die unmittelbar beobachteten Erscheinungen bei der localen Zerstörung einer Nitella-Zelle sehr verschieden sein.

Die völlige Entfärbung der insolirten Stelle kann eintreten und die Zelle kann dabei keine Spur einer Störung in ihrem Inhalte zeigen. Es bleiben dann die Chlorophyllkörner des ganzen, grossen nicht beleuchteten Stückes der Zelle in ihrer Form, ihrer Farbe und in ihrer regelmässigen Reihen-Anordnung vollkommen unverändert; auch der Indifferenzstreifen bleibt vollkommen erhalten und es findet nirgends eine Ablösung der Hautschicht von der Zellwand statt. Auch die Circulation des Plasma und dessen Inhaltskörper zeigen keine erkennbare Störung (Taf. XI. Fig. 11, 12). Dieser Fall tritt bei den längeren und kräftigeren Schläuchen ein, es kann hierbei aber auch zu einer momentanen und vorübergehenden Sistirung der Bewegung kommen.

Oder der Tod der ganzen Zelle als unmittelbare Lichtwirkung tritt schon ein, noch lange bevor die Entfärbung an der insolirten Stelle vollendet ist. Dieser Fall kann sogar eintreten, während die Chlorophyllkörper an der belichteten Stelle kaum Spuren von Entfärbung zeigen. Die erste auffallende Erscheinung im Zellinhalte ist dann die Sistirung der Bewegung. Mit ihr häufig verbunden sind unregelmässige Plasmaansammlungen an der belichteten Stelle, die ein hier vorhandenes Hinderniss für die Fortbewegung andeuten. Darauf folgen dann weitergehende Zerstörungen im Inhalte. Die Chlorophyllkörper längs der ganzen Länge der nicht beleuchteten Theile des Schlauches gerathen in Unordnung und zeigen die bekannten Quellungserscheinungen, die sonst nur bei ihrem Austritte aus den

Schläuchen wahrgenommen werden. Sie verlieren ihre polyedrischen oder ovalen Formen, wandeln sich durch Wasseraufnahme zu wahren, mit Flüssigkeit erfüllten Bläschen um, und ihre vorher kaum erkennbaren Einschlüsse treten scharf und wohl umschrieben hervor (Taf. XII. Fig. 3). Die Chlorophyllkörper der belichteten Stelle zeigen diese Veränderungen nicht. Endlich löst sich in den so veränderten Zellen die Hautschicht nach und nach von der Zellwand ab, und die Zelle zeigt auch hier, wie bei den Spirogyren, alle Zeichen des durch Licht bewirkten Todes.

Es ist nun eine bemerkenswerthe Thatsache, dass in den Fällen, in welchen der Tod des Nitella-Schlauches durch Lichtwirkung eintritt, gewisse allgemeine und constante Todeserscheinungen des Zellinhalts gerade an der vom Lichte getroffenen Stelle ausbleiben. So quellen, wie ich soeben hervorhob, die entfärbten Chlorophyllkörper der vom Licht getroffenen Stelle nicht auf, während es doch sämmtliche Chlorophyllkörper in dem nicht insolirten Theile des Schlauches thuen. Ebenso fällt gewöhnlich der Plasmaschlauch an der insolirten Stelle nicht, oder nur wenig zusammen, während er sich an den übrigen Stellen des Schlauches in der gewöhnlichen Weise von der Wand ablöst (Taf. XII. Fig. 3).

Unter den mannigfaltigen Erscheinungen, die bei der Insolation der Nitella-Schläuche an einer localen Stelle beobachtet werden können, und die ich nicht weiter im Einzelnen schildern will, mögen hier noch 2 Fälle eine besondere Erwähnung finden.

Wird nämlich der Versuch unterbrochen, bevor in der betreffenden Zelle der Tod durch Lichtwirkung eingetreten ist, und bevor noch die Chlorophyllkörper der insolirten Stelle die vollständige Lichtwirkung schon erfahren haben und völlig entfärbt sind, dann tritt die eigenthümliche Erscheinung ein, dass die halb oder nahezu ganz entfärbten Chlorophyllkörper sich von der Hautschicht ablösen und in die Stromebene herabfallen. Sie circuliren dann ununterbrochen, und in ihrer Form unverändert, in der regelmässigen Bahn der Strömung, und bilden hier oft grössere zusammenhängende aus zahlreicheren Chlorophyllkörpern bestehende Haufen, die ungestört, ganz so, wie die anderen grossen, geformten Inhaltskörper des Schlauches, und auch ohne wesentliche Störung des Stromes, die gesammte Kreisbahn in dem Nitella-Schlauche zurücklegen.

Die vom Licht getroffene Stelle wird dann durch die allmälige Ablösung der Chlorophyllkörper bloss gelegt und erscheint endlich völlig nackt (Taf. XII. Fig. 5). In diesem Zustande habe ich Nitella-Schläuche mit einer grossen, durch die Lichtwirkung von Chlorophyllkörpern entblössten Stelle der Wand in Präparaten, auf Objectträger und unter Deckglas, nur vor Vertrocknung geschützt, Wochen und Monate lang lebend erhalten. Sie blieben unverändert; ihre Circulation blieb bestehen, normal und lebhaft; ebenso der geformte Inhalt im Strome, und die nicht vom Lichte getroffenen Partien des Schlauches behielten ihre Chlorophyllkörper in ganz normaler Beschaffenheit in Form, Farbe und Anordnung. Die in den Strom gefallenen Chlorophyllkörper der belichteten Stelle, die anfangs nur theilweise entfärbt sind, verlieren dann nach und nach, aber erst nach langer Zeit, ihre Farbe vollständig, behalten aber ihre Form bei, und scheinen auch in ihrer Substanz keine weitere Veränderung zu erleiden.

In anderen Fällen wieder, wenn die Lichtwirkung einen höheren Grad erreicht und die belichtete Stelle sich entfärbt, ohne aber, dass die Circulation aufhört, entstehen hin und wieder, statt des ursprünglichen einen, zwei Kreisströme im Schlauche, die, jeder in sich geschlossen, durch die entfärbte Stelle des Schlauches, die auch hier ein Hinderniss der Bewegung bildet, von einander getrennt werden; so dass der eine Strom von der Basis des Schlauches bis zur entfärbten Stelle, der andere von hier bis zur Spitze des Schlauches reicht, jeder aber vor der entfärbten Stelle umkehrend für sich allein einen geschlossenen Kreisstrom bildet.

Auch in den Zellen der höheren Gewächse ruft die Wirkung des intensiven Lichtes die gleichen Veränderungen hervor. Da die äusseren Erscheinungen kaum von den eben beschriebenen abweichen, so gebe ich hier als Beispiele nur noch die Abbildung einer im Lichte getödteten und einer benachbarten, vom Lichte nicht getroffenen Zelle eines Blattes von Mnium affine (Taf. XI. Fig. 4 u. 5), und ferner die einer insolirten Partie aus dem Blattgewebe von Vallisneria spiralis (Taf. XIV. Fig. 10). Hier lag der Theil b—b im Sonnenbilde, der übrige Theil des Gewebes aber ausserhalb desselben. Die Entfärbung der Chlorophyllkörper, die Sistirung der Bewegung des Protoplasma, während die Bewegung in der ausserhalb des Sonnenbildes befindlichen Partie erhalten bleibt; dann die

Zerstörungserscheinungen im Protoplasma und der Lichttod der belichteten Zellen erfolgen hier in der gleichen Weise wie bei Spirogyra und Nitella, selbstverständlich insoweit nicht die verschiedene Organisation der Zellen eine Abweichung bedingt. In der Figur fehlen die Andeutungen einiger dieser Unterschiede im nicht belichteten Theile, c d, weil die Figur das Präparat wiedergiebt, nachdem es mehrere Tage in Salzsäure gelegen hatte.

Aber die Lichtwirkung ist nicht etwà auf die grünen Organe beschränkt. Auch nicht grüne Pflanzenzellen werden vom Lichte afficirt, und man kann auch in ihnen die Lichtwirkung bis zum Lichttod steigern oder nach Willkür nur bis zur Lichtstarre führen. Als Beispiel einer Lichtwirkung auf nicht grüne Zellen erwähne ich hier noch die Erscheinungen, welche in den mit blauem Zellsaft erfüllten Zellen der Filamenthaare von Tradescantia virginica, im Sonnenbilde eintreten (Taf. XV. Fig. 2, 3, 4).

Die Lichtstarre, d. h. die vorübergehende Sistirung der Bewegung in den Plasmasträngen, die hier gleichfalls vom Cytoblasten ausgehen, erfolgt oder kann doch schon vor Zerstörung der blauen Farbe des Zellsaftes erfolgen (siehe Versuch 46). Die contractile Substanz der Stränge verliert dann noch nicht ihren normalen Charakter und nach kürzerer oder längerer Zeit kann die Bewegung in ihnen mit ungeschwächter Stärke wiederkehren, und die Zelle hat keinen empfindlichen Schaden in ihrer Beschaffenheit erlitten.

Auch der Lichttod der Zelle erfolgt hier schon vor gänzlicher Zerstörung der blauen Farbe (Taf. XV. Fig. 2, 3, 4). Schon wenn die Zellen in Folge der intensiven Beleuchtung einen violetten Farbenton annehmen, ist auch das Plasma in ihnen schon getödtet. Hierbei erscheint die Substanz der Protoplasmastränge wie erstarrt und die Bewegung in ihnen erlischt, ohne wiederzukehren. Im weiteren Verlaufe des Vorganges werden die Stränge grobkörnig, verschwinden zum Theil, oder reissen unregelmässig durch (c. f. g. Fig. 4 Taf. XV.) und erscheinen dann als starre, ins Lumen der Zelle frei herabhängende grobkörnige Fäden, oder die Hautschicht zieht sich, wie sonst vielfach beim Tode der Zellen, mit dem ganzen Plasma von der Wand ab und fällt unregelmässig zusammen (Taf. XV. Fig. 2, 3). Hin und wieder hebt sich an den belichteten Stellen auch die Cuticula von den insolirten Zellen ab.

B. Die Bedingungen der Lichtwirkung in der Pflanzenzelle.

Nach dieser vorläufigen Orientirung über den äusseren Eindruck der Erscheinung sind die Bedingungen festzustellen, welche nothwendig sind, wenn überhaupt eine Wirkung des intensiven Lichtes in der beschriebenen Weise in der Pflanzenzelle zu Stande kommen soll.

Die hohe Intensität des Lichtes genügt keineswegs schon für sich allein zur Hervorrufung derselben. Sondern sie hängt noch von der Farbe des wirksamen Lichtes und von der chemischen Affinität des Sauerstoffs zum Zellinhalte ab.

Alle vorher als photochemische Lichtwirkungen beschriebenen Erscheinungen erfolgen im weissen Sonnenbilde rasch und energisch. In farbigen Sonnenbildern dagegen treten nicht nur relative Verzögerungen ein, sondern in bestimmten rothen Sonnenbildern bleibt die Wirkung unter den gleichen Umständen aus, unter denen sie in wenigen Minuten in dunkelgrünen und blauen Sonnenbildern eintritt.

Genauere und specielle Angaben über dies relative Verhalten in verschiedenfarbigem intensivem Lichte und über die Zeit, binnen welcher die Lichtwirkung bei sonst gleichen Umständen in den verschiedenen Farben eintritt und ausbleibt, bringen die Notizen zu meinen Versuchen, die ich in den Beilagen am Schlusse dieses Aufsatzes zusammengestellt habe.

Die erste Reihe derselben — Versuch 1—19 — bezieht sich auf die Versuche in farbigen Sonnenbildern, die in der dort näher bezeichneten Weise hergestellt wurden und die Spectra dieser Sonnenbilder, für jeden Versuch controlirt, sind auf der Spectraltafel Fig. 1 Taf. XXVI., auf welche in den Notizen Bezug genommen wird, besonders verzeichnet.

Versuche im weissen Lichte sind dort nicht aufgeführt, weil es sich von selbst versteht, dass alle Wirkungen, welche in einfarbigem, blauem, grünem, gelbem und rothem Lichte erreicht werden, auch im weissen Lichte erreicht werden können. Sie treten hier nur mit grösserer Energie und schneller ein, können aber unter Umständen noch mit verschiedenen Wärmewirkungen combinirt sein. So wird die Entfärbung und der Tod der Zellen, die im grünen und blauen Lichte zu ihrer Vollendung etwa 5 Minuten bedürfen, im weissen Lichte in denselben Zellen schon in 2—3 Minuten erreicht.

Schon die wenigen Versuche mit einfarbigen Sonnenbildern, die

in den angezogenen Versuchsnotizen mitgetheilt sind, werden genügen, um den immensen Unterschied in der Grösse der Wirkung zwischen dem dunkelrothen Sonnenbilde der Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff und den blauen, grünen und gelben Sonnenbildern der Lösungen des schwefelsauren Kupferoxyd-Ammoniaks, Kupferchlorids nnd Kalibichromats nachzuweisen.

Ich habe dort zum Vergleich aufeinanderfolgende Versuche ausgewählt, bei denen die Intensität der Bestrahlung und die specifische Energie des Versuchsobjectes in den Parallel-Versuchen als gleich anzunehmen waren. Alle die zahllosen Versuche, die ich seit etwa 5 Jahren in dieser Richtung angestellt habe, bestätigen durchweg die dort angegebenen Resultate. Sie weisen übereinstimmend nach, dass es in jedem beliebigen gelben, grünen und blauen Lichte leicht ist, in wenigen Minuten die Zellen zahlreicher Algen, Characeen, Moose, Farn und Phanerogamen zu entfärben und zu tödten, sofern diese Farben nur nicht zu dunkel gewählt sind; dass dies aber selbst in der doppelten bis vierfachen Zeit an denselben Zellen, und bei gleicher Intensität der Spiegelbeleuchtung in dem oben näher bezeichneten, rothen Sonnenbilde nicht gelingt. Das rothe Sonnenbild ist demnach trotz seiner noch enormen Helligkeit photochemisch auf die Pflanzenzelle unwirksam, oder doch nur in äusserst geringem Grade wirksam, und diese bestimmte Abhängigkeit der Wirkung von der Farbe zerstreut zugleich die Bedenken, die vielleicht gegen die von mir angewandte Versuchsmethode und die daraus gezogenen Schlüsse erhoben werden könnten.

Ich habe bereits an mehreren Stellen vorübergehend die Frage berührt, ob die in meinen Versuchen in der Pflanzenzelle hervorgerufenen Zerstörungen, die ich als photochemische Lichtwirkungen anspreche, nicht vielmehr blosse Wärmewirkungen sind, wie sie nothwendig im Brennpunkt einer so starken Linse eintreten müssen. Die Deutung der Versuche für die Abhängigkeit der Vegetation vom Lichte würde zweifellos eine andere werden, wenn die beobachteten Wirkungen als reine Wärmewirkungen der Bestrahlung anzusehen wären.

Dass dies jedoch nicht der Fall ist, darüber klärt den aufmerksamen Beobachter schon der genauere Vergleich der anatomischen Veränderungen auf, die beim Wärmetode der Zellen und derjenigen,

die beim Tode der Zelle durch Bestrahlung eintreten. Von der Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes im Besondern wird dies überhaupt Niemand annehmen, der die Zerstörungen kennt, welche schädliche Wärmegrade in grünen Pflanzenzellen hervorrufen. Allein von den Veränderungen im Protoplasma, von der vorübergehenden Sistirung der Bewegung durch Licht, die man als Lichtstarre bezeichnen kann, und von dem Lichttode der Zelle ist dies an sich nicht so selbstverständlich, denn Wärmestarre und Wärmetod erzeugen ähnliche, wenn auch nicht identische Veränderungen im Zellinhalte. Dies bedarf daher noch einer näheren Auseinandersetzung.

Dass die Zerstörungen in der Zelle nicht etwa durch die hohe Temperatur im Wassertropfen, in welchem das Object liegt, bewirkt werden, liegt auf der Hand. Schon das äussere Verhalten des Tropfens im farbigen Sonnenbilde, die Art, wie er nur langsam verdampft u. s. w. zeigt, dass die Temperatur in demselben keine hohe sein kann. Dasselbe lehren auch die pflanzlichen und thierischen Organismen, die sich neben dem eigentlichen Versuchsobjecte noch in ihm befinden. Sogar diejenigen Zellen der Versuchsobjecte, die unmittelbar an die insolirten angrenzen, bleiben von der Wirkung gewöhnlich verschont, sofern sie nicht noch theilweise vom Lichte getroffen werden. Ebenso sieht man die im Versuchstropfen gleichzeitig vorhandenen Thiere — Flagellaten, Räderthiere u. s. w. — sich ruhig im Tropfen, neben und in dem intensiven Sonnenbilde herumbewegen, oft ohne jede störende Empfindung zu verrathen. Denn auch an de Stelle im Wassertropfen selbst, wo das Sonnenbild entsteht, erreicht die Temperatur im grünen und blauen Sonnenbilde keinen schädlichen Grad.

Alles dies ist leicht zu constatiren. Allein offenbar findet auch im Inneren der Zelle dort, wo die zerstörende Lichtwirkung eintritt, nicht eine reine Wärmewirkung statt, d. h. eine solche, die auch durch unsichtbare Wärmestrahlen erreicht werden könnte. Hierüber lässt das Verhalten der Objecte in farbigen Sonnenbildern keinen Zweifel, wenn man die Intensitäten der Licht- und Wärmewirkung in ihnen vergleicht.

In Uebereinstimmung mit bekannten Erfahrungen über Wärmeverbreitung im Spectrum und über Diathermansie von elementaren Gasen und Flüssigkeiten, die hier keine weitere Auseinandersetzung

bedürfen, haben die directen Temperaturbestimmungen, die ich S. 324 und 325 mitgetheilt habe, das Resultat ergeben, dass in meinen Versuchen mit intensiven Sonnenbildern z. B. diejenigen, welche hinter einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff — mit dem Absorptionsspectrum γ oder δ Fig. 1 Taf. XXVI. — entstehen, ungemein mehr Wärme entwickeln, als diejenigen, welche unter gleichen Umständen hinter den von mir benutzten Lösungen von Chlorkupfer und schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak — mit den Absorptionsspectris ζ, η, ϑ, ι, $\varkappa$ Fig. 1 Taf. XXVI. sich bilden.

Jene rothen Sonnenbilder erhöhen die Temperatur im Versuchstropfen schon binnen 5 Minuten auf mehr als 45° C., vermögen aber selbst in 15 bis 20 Minuten nicht die Entfärbung und den Tod der Zellen zu bewirken, die sie in diesem Wassertropfen direct bestrahlen. — Dagegen entfärben und tödten die grünen und blauen Sonnenbilder der Parallelversuche dieselben Zellen schon binnen 5 Minuten, während sie selbst bei einer 15 bis 20 Minuten und länger ununterbrochen andauernden Einwirkung die Temperatur im Versuchstropfen kaum auf 35 bis 36° C. zu steigern vermögen, eine Temperatur, die an und für sich auch für die empfindlichsten Zellen absolut unschädlich ist.

Es bedarf kaum der Erwähnung, dass die gemachten Angaben über die relative Dauer, bis zu welcher die Wirkungen in den verschiedenen Farben eintreten, hier, wie überhaupt in meinen Versuchsangaben, nur für die Lichtintensitäten Giltigkeit haben, bei welchen meine Versuche angestellt sind.

Nun sind zwar die Temperaturbestimmungen im Versuchstropfen, auch die an der unmittelbar vom Sonnenbilde getroffenen Stelle, nicht absolut massgebend für die Höhe der Temperatur, welche im Inneren der Zelle erreicht wird, und es wäre daher vielleicht nicht gerade der Schluss erlaubt, dass die im grünen und blauen Sonnenbilde in der Zelle beobachteten Zerstörungen schon bei einer Temperatur von höchstens 35° C. eintreten, allein der Umstand, dass die warmen rothen Sonnenbilder keine Wirkung ausüben, während die kalten grünen und blauen Sonnenbilder wirksam sind, lässt erkennen, dass bei diesen Vorgängen in der Zelle die Intensität der Lichtwirkung nicht proportional ihrer Wärmewirkung ist.

Die Zerstörungen im Protoplasma, die zum Tode der Zelle führen,

hängen daher nicht allein von der durch Wärme messbaren Intensität des Lichtes ab, gehören vielmehr in die Reihe der chemischen Wirkungen des Lichtes, bei welchen die Farbe von Bedeutung wird.

Inwieweit und ob hierbei etwa nur eine Wirkung des Lichts auf den Chlorophyllfarbstoff in Frage kommt, werde ich noch später zu erörtern haben, bemerke jedoch gleich hier, dass gerade das unwirksame rothe Licht, welches in den betreffenden Versuchen angewandt wurde, bekanntlich vom Chlorophyllfarbstoff stark absorbirt wird — man vergleiche das Spectrum β mit den Spectren γ und δ Fig. 1 Taf. XXVI. — und namentlich ungemein stärker, als das wirksame grüne.

Die Beziehungen der Lichtwirkung zu den chemischen Vorgängen in der Pflanzenzelle, die sich durch den Einfluss, den die Farbe zeigt, offenbaren, treten mit voller Schärfe hervor, wenn die Versuche im intensiven Lichte, in bestimmten Gasen und Gasgemengen ausgeführt werden. Ich habe in der zweiten Versuchsreihe der angeschlossenen Versuchsbeilagen einige dieser Versuche zusammengestellt und ihre Resultate mit den Resultaten verglichen, die man erhält, wenn die Versuche in atmosphärischer Luft angestellt werden. Hier interessiren uns zunächst die Versuche in Gasen und Gasgemengen, die frei von Sauerstoff sind.

Man findet dort, dass grüne Pflanzenzellen, z. B. Spirogyra- oder Nitella-Zellen, wenn durch die Gaskammer, in welcher sie im Sonnenbilde liegen, sauerstofffreier Wasserstoff, oder ein Gemenge von Wasserstoff und Kohlensäure geleitet wird, 20 Minuten lang dem intensiven Lichte jeder Farbe, selbst dem weissen und rothen, ausgesetzt werden können, ohne ihre Farbe und normale Beschaffenheit einzubüssen. Sie verhalten sich absolut so, als ob nichts geschehen wäre. Ich habe so behandelte Zellen in zahlreichen Fällen noch wochenlang nach dem Versuche beobachtet und habe, wenn die Bedingungen des Versuches eingehalten, und andere störende Einflüsse ausgeschlossen waren, keinen Unterschied zwischen ihnen und nicht insolirten auffinden können. Meine Versuche in dieser Richtung sind so zahlreich und so übereinstimmend ausgefallen, dass ich ganz allgemein den Satz hinstellen darf, dass dieselben grünen und nicht grünen Zellen, die bei Gegenwart von Sauerstoff schon in 3 bis 5 Minuten im verhältnissmässig kalten intensiven, grünen und blauen

Sonnenbildern unrettbar getödtet werden, bei Ausschluss von Sauerstoff in intensiven Sonnenbildern jeder Farbe immun bleiben, wenn die Expositionsdauer nicht so lange ausgedehnt wird, dass schliesslich im Wassertropfen und Versuchsobject nachhaltig schädliche Wärmewirkungen erfolgen können.

Betrachten wir dies Resultat mit Bezug auf die Wärmeerregung im Inneren der Zelle, so ist offenbar die Höhe der Temperatur, die hierbei im Inhalte der Zelle, in jedem einzelnen Chlorophyllkorn und jedem Plasma-Theilchen erreicht wird, wie gross diese auch immer sein mag, nicht die wesentliche Ursache der Erscheinung. Denn bei der Diathermansie der elementaren Gase darf man unbedingt behaupten, dass die Ersetzung der Luft in der Gaskammer durch Wasserstoff von keiner die Erwärmung des Versuchsobjects herabsetzenden Wirkung begleitet ist. Licht- und Wärme-Absorption der Chlorophyllkörper und der übrigen protoplasmatischen Bestandtheile der Zelle bleiben unverändert und Wärmewirkung und Wärmeleitung im Versuche wesentlich gleich, mag nun atmosphärische Luft oder Wasserstoff die Gaskammer durchstreichen.

Wenn daher die Zerstörung im Zellinhalte nur in sauerstoffhaltigen Medien eintritt, in sauerstofffreien Medien aber trotz gleich grosser, immenser Wärmewirkung des Sonnenbildes ausbleibt, so ist an sich klar, dass hier nicht jene molecularen Veränderungen im Protoplasma vorliegen, durch welche die dunkle Wärme schon bei niederen Temperaturgraden die Zelle tödtet. Sondern es tritt uns in diesen Versuchen die für die richtige Auffassung der gesammten Vegetationserscheinungen im Lichte bedeutsame Thatsache entgegen, dass das Licht die Beziehungen der Pflanze zum Sauerstoff der Atmosphäre beeinflusst, und die Versuche zeigen zugleich, dass es die leuchtenden Strahlen sind, durch welche die chemische Affinität des Inhaltes zum Sauerstoff gesteigert wird.

Auch die Grösse dieser Wirkung zeigt sich ferner, wie bei anderen chemischen Wirkungen des Lichtes, von der Farbe der leuchtenden Strahlen abhängig, und nimmt unverkennbar mit der Brechbarkeit derselben von dem rothen nach dem blauen Ende des Spectrums zu.

Ich habe oben bereits angeführt, dass die photochemische Zerstörung der Zellen im rothen Lichte nicht gelingt. Dies gilt jedoch

nur von der Farbe der dort bezeichneten Spectralbreite, d. h. von einem rothen Lichte, welches nur das äusserste Roth höchstens bis etwa zur Wellenlänge 0,00061 mm enthält (Roth II. der Spectraltafel auf Taf. XXVI.). Doch auch in diesem Roth werden schon nach langer Einwirkung, oder bei sehr empfindlichen Zellen geringe Wirkungen bemerkbar, von denen es jedoch nicht ganz sicher ist, ob sie noch als rein chemische, oder schon als thermische Wirkungen der Bestrahlung zu betrachten sind.

So werden z. B. die sehr empfindlichen Zellen von Mesocarpus scalaris im rothen, durch Lösungen von Jod in Schwefelkohlenstoff erzeugten Sonnenbildern, welche das Spectrum δ Taf. XXVI. besitzen, schon in 2 bis 3 Minuten getödtet, wobei aber der Chlorophyllfarbstoff der Zelle erhalten bleibt und nicht im Geringsten leidet (Taf. XV. Fig. 11). Nun enthält das Spectrum dieses rothen Sonnenbildes, wie dies auch bei dunklen Jodlösungen noch der Fall ist und wie es das Spectrum δ zeigt, noch schwache Spuren von Violett.

Da nun in diesem Sonnenbilde die Temperatur im Wassertropfen an der Stelle, wo das Sonnenbild liegt, schon in wenigen Minuten auf 45° C. steigen kann — man vergleiche Seite 324 u. 325 — so läge es nahe, anzunehmen, dass die Mesocarpus-Zellen hier durch die Wärme getödtet werden, wenn die rothen Sonnenbilder nicht in anderen Fällen — z. B. auf Spirogyren — selbst bei einer Expositionsdauer von 10 bis 20 Minuten völlig wirkungslos wären. Es ist jedoch anderseits auch denkbar, dass der Tod in diesen empfindlichen Mesocarpus-Zellen durch die photochemische Wirkung auf das Protoplasma schon erfolgt, bevor noch der Chlorophyllfarbstoff in ihnen angegriffen und zerstört wird und ich werde deshalb auch später, wo von der relativen Empfindlichkeit der Zellenbestandtheile und des Farbstoffes gegen Licht die Rede sein wird, auf das Verhaten der Mesocarpus-Zellen im rothen Lichte noch zurückkommen müssen. Die Erwähnung hier sollte nur auf einen jener Fälle aufmerksam machen, bei welchen man in der Beurtheilung der Ursache der Zerstörung im rothen Lichte auf Schwierigkeiten stösst.

Hieraus folgt nun, dass ich keineswegs die absolute Wirkungslosigkeit des rothen Lichtes in photochemischer Beziehung behaupten will, vielmehr will ich als vollkommen sicher nur aussagen, dass die Grösse der oxydirenden Wirkung des Lichtes auf die

Pflanzenzelle, von welcher hier allein die Rede ist, gegen das rothe Ende des Spectrums in augenfälliger Weise herabsinkt.

Auch die Zunahme derselben nach dem blauen Ende hin lässt sich aus meinen Versuchen nicht schon in bestimmten Zahlen quantitativ ausdrücken und demgemäss kann ich auch die Abhängigkeitscurve der Athmungsgrösse der Zelle von der Lichtfarbe nicht schon nach ihrem exacten Verlaufe genau verzeichnen.

Die wechselnden Intensitäten der Beleuchtung, die bei der Concentration des Lichtes in meinen Versuchen in verstärktem Masse fühlbar werden; die grossen Intensitätsdifferenzen, die schon geringe Verstellungen des Objectes gegen die Ebene des Sonnenbildes mit sich bringen, und der Mangel eines Massstabes für die Grösse der Wirkung im Inneren der Zelle, so lange sie vom Lichte noch nicht getödtet ist, stellen genauen quantitativen Bestimmungen fast unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen. Ich habe mich daher vorläufig darauf beschränken müssen, zu constatiren, und hierauf kam es mir ja mit Rücksicht auf die Lichtabsorption im Chlorophyllfarbstoff wesentlich nur an — dass überhaupt eine Steigerung und zwar eine entschiedene Steigerung der Wirkung im Blau eintritt.

Hierüber ist allerdings ein Zweifel nicht möglich. Jedoch bedarf es auch hierzu einer sorgsamen Beachtung der Intensität der wirksamen Farbe, denn bei den bedeutenden Intensitäten, die bei meinen Versuchen in Wirksamkeit treten, werden die Zellen schon in kurzer Zeit auch im gelben und grünen Lichte getödtet.

Eine dunklere und eine hellere Lösung von Chlorkupfer, die beide in der Breite ihres Absorptionsspectrums nur wenig abweichen, zeigen schon enorme Differenzen in der Grösse ihrer Wirkung auf die Pflanzenzelle. So wirkt z. B. das Sonnenbild mit dem Spectrum ζ Taf. XXVI., welches entsteht, wenn die Strahlen eine etwa 10 mm dicke Schicht einer Lösung von Chlorkupfer durchstreichen, nur äusserst wenig. Stärker wirkt schon das mit dem Spectrum η, und ein grünes Sonnenbild mit dem Spectrum ϑ — entstanden durch Einschaltung einer etwa 5 mm dicken Schicht einer Chlorkupferlösung — zeigt eine äusserst starke, im Verhältniss zu den beiden erstgenannten grünen Sonnenbildern enorme Wirkung auf die Pflanzenzelle. Dieses Sonnenbild enthält aber bereits einen bedeutenden Antheil an blauen

Strahlen, trotzdem die Lösung von Chlorkupfer, durch welche es erzeugt wird, dem Auge noch ganz grün erscheint.

Gleich starke Wirkungen zeigen die blauen Sonnenbilder, auch diejenigen, welche durch Lösungen von schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak erzeugt werden, obgleich diese Lösungen, wie ich bereits an einer früheren Stelle hervorhob, auch die blauen Strahlen stark absorbiren, daher im concentrirten Zustande nur ein sehr lichtschwaches Blau hindurchlassen.

Will man daher die Wirkung des blauen Lichtes ihrem Effecte nach mit der des grünen Lichtes bei Anwendung von Lösungen von schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak und von Chlorkupfer, die hierzu gewöhnlich benutzt werden, vergleichen, so darf man die blauen Lösungen nicht zu dunkel nehmen. Ich hebe dies nur hervor, weil die Nichtberücksichtigung dieses Umstandes in den Versuchen über die relative Energie der Farben im Assimilationsvorgange so viele Missverständnisse hervorgerufen hat.

Allerdings lassen die helleren Lösungen von schwefelsauren Kupferoxyd-Ammoniak auch etwas verdunkeltes Grün hindurchtreten, allein die helleren Chlorkupferlösungen lassen noch mehr blaue Strahlen hindurch. Nimmt man hierauf und auf die relativen Intensitäten des hindurchtretenden grünen und blauen Lichtes Rücksicht, so überzeugt man sich leicht, dass auch die lichtschwächeren blauen Sonnenbilder noch wirksamer sind, als die lichtstärkeren grünen. Dieser Umstand wirft aber ein unerwartetes Licht auf die Bedeutung der grünen Farbe der Vegetation, durch welche jenes die Oxydation des Zellinhaltes am wirksamsten fördernde Blau fast völlig absorbirt wird.

C. Die im intensiven Licht verbrennlichen, und die in demselben unverbrennlichen Bestandtheile der Zelle.

Ich gehe nun zur Untersuchung des Verhaltens der einzelnen Bestandtheile des Zelleninhaltes im intensiven Lichte über.

Wir haben gesehen, dass die zerstörenden Wirkungen des intensiven Lichtes auf die Pflanzenzelle von der Gegenwart von Sauerstoff bedingt sind. Die Untersuchung muss sich daher darauf richten, diejenigen besonderen Bestandtheile der Zelle, welche dem oxydirenden Einflusse des Sauerstoffes im Lichte unterliegen, von denjenigen zu unterscheiden, welche sich selbst im intensiven Lichte als unverbrennlich erweisen.

Man ist unbedingt berechtigt, anzunehmen, dass unter denjenigen Körpern in der Zelle, welche durch ihre Veränderungen im intensiven Lichte ihre grosse Affinität zum Sauerstoff verrathen, sich die eigentlichen Brennstoffe der normalen Athmung der grünen Theile der Gewächse befinden, ebenso, wie man gewiss unbedingt annehmen darf, dass diejenigen Inhaltsbestandtheile der Zelle, welche selbst unter Einfluss des intensivenLichtes bei Gegenwart von Sauerstoff ganz unverändert bleiben, keinesfalls unter den gewöhnlichen Beleuchtungsverhältnissen, unter welchen die Pflanze lebt, als Träger der Athmung dienen können.

Die bekannten, grösseren Formelemente der Pflanzenzelle lassen über ihr Verhalten im intensiven Licht nach dieser Richtung hin keinen Zweifel. Dagegen bedarf es vielleicht umfassenderer Beobachtungen, als sie mir augenblicklich zu Gebote stehen, um unter den an der Grenze unserer gegenwärtigen microscopischen Beobachtung stehenden morphologisch noch definirbaren Elementen im Protoplasma schon diejenigen mit Genauigkeit zu unterscheiden, welche im Lichte beständig und diejenigen, welche im Lichte unbeständig sind.

Ich theile hier die Ergebnisse, die ich mit meiner Methode bisher erreicht habe, mit und knüpfe daran einige Bemerkungen über im Einzelnen verwandte Resultate und literarische Angaben, die auf anderen Wegen erlangt sind.

1. Die Farbstoffe des Zellinhaltes im intensiven Licht.

Am leichtesten nachweisbar sind die Veränderungen, welche die Farbstoffe des Zellinhaltes und vor Allem der Chlorophyllfarbstoff im intensiven Lichte erleiden; denn die eintretende Wirkung springt hier unmittelbar durch die Zerstörung der Farbe in's Auge.

Ich habe bereits mitgetheilt, dass die Farbe der grünen Zellen in wenigen Minuten bei intensiver Beleuchtung verschwindet, dass dies aber nicht im rothen Lichte und nur bei Gegenwart von Sauertoff geschieht (vergl. S. 339 u. 340 und Taf. XI—XIV).

Es ist mir bisher nicht möglich gewesen, nachzuweisen, was aus dem verschwundenen Chlorophyllfarbstoff der Zelle wird. Man findet in Folge seiner Zerstörung keinen neuen Stoff in der Zelle, der als das Product der Zerstörung zu betrachten wäre. Ebensowenig ist in der Zelle eine Vermehrung der bereits vorhandenen Stoffe in

Folge seiner Zerstörung nachweisbar. Ich kann daher nach allen meinen bisherigen Erfahrungen nur die Vermuthung wiederholen, die ich schon in meiner ersten Mittheilung ausgesprochen habe, dass der Chlorophyllfarbstoff hierbei direct in die gasförmigen Producte der Athmung übergeht; denn seine Zerstörung lässt keine nachweisbaren Spuren in der Zelle zurück und sie ist augenscheinlich an die Gegenwart von Sauerstoff gebunden.

Aber auch die gleichzeitig vorhandene Kohlensäure wird in den Process der Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes nicht hineingezogen.

Bei meinen Insolationsversuchen unter Einfluss bestimmter Gasè habe ich durch die Gaskammer, in welcher die insolirten Objecte lagen, atmosphärische Luft streichen lassen, die ich vorher mit allen Mitteln von Kohlensäure befreit hatte, welche bei quantitativen Analysen angewandt und zur vollständigen Absorption der Kohlensäure für genügend befunden werden. Ich liess die atmospärische Luft unmittelbar vor ihrem Eintritt in die Gaskammer Blase für Blase durch drei mit einander verkoppelte Liebigsche Apparate streichen, und habe den Versuch erst begonnen, nachdem alle Luft, welche die Gaskammer vorher enthielt, vollständig durch reinen Wasserstoff verdrängt war. Wie oft ich auch diesen Versuch wiederholte, die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes und, wie ich hier gleich noch bemerken will, auch die anderen Wirkungen des Lichtes auf die Zelle traten in allen Farben ebenso rasch und energisch wie in gewöhnlicher, kohlensäurehaltiger, atmosphärischer Luft ein. (Man vergleiche auch die Versuche 37—40.)

Es mag zweifelhaft sein, ob es möglich ist, einen Raum, in welchem sich einige Pflanzenzellen befinden, absolut frei von Kohlensäure herzustellen. Allein soviel steht nach meinen Versuchen unbedingt fest: Die Herabsetzung der Sauerstoff-Spannung im umgebenden Raume unter eine bestimmte Grenze beeinträchtigt die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes im Lichte sofort, und hebt dieselbe sogar vollständig auf. Dagegen übt die Herabsetzung der Kohlensäure-Spannung, selbst wenn diese auf eine ganz verschwindende Grösse fällt, gar keinen Einfluss auf die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes im Lichte aus. Sie stört sie nicht und verzögert sie nicht.

Diese Thatsache wird ihre Verwendung für die theoretischen

Schlüsse finden, welche ich aus meinen Versuchen über die Function des Chlorophyllfarbstoffes ziehen zu dürfen glaube.

Ebenso die weitere Thatsache, dass in einem reinen Gemenge von Kohlensäure und Wasserstoff die photochemische Wirkung des Lichtes ausbleibt. Sie unterstützt und vervollständigt die in den Versuchen in kohlensäurefreien Räumen gewonnenen Resultate und zeigt ihrerseits die Nichtbetheiligung der Kohlensäure an der Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes im Lichte. Die Versuche 28 bis 31 geben hierüber beispielsweise Auskunft. Sie zeigen, dass grüne Pflanzenzellen in quantitativ verschiedenen Gemengen von Kohlensäure und Wasserstoff, die frei von Sauerstoff sind — in welchen aber bekanntlich die Assimilation im Lichte durch die Versuchsobjecte möglich ist — in einem intensivem Lichte, welches sie sonst tödtet und entfärbt, dennoch trotz der vorhandenen Kohlensäure in jeder Beziehung ungestört und auch unverändert grün bleiben.

Eine der bemerkenswerthesten Thatsachen, die ich bei den Zerstörungserscheinungen des Chlorophyllfarbstoffes in meinen Versuchen gefunden habe, ist ferner die Unfähigkeit der lebenden Zelle den zerstörten Chlorophyllfarbstoff zu regeniren, auch wenn die Zelle selbst nach der Insolation noch lebend und vegetationsfähig zurückbleibt.

Es ist dies nicht schwer nachzuweisen, da man den Versuch im intensiven Lichte in jedem Augenblicke unterbrechen, also auch in einem Stadium beenden kann, in welchem der Lichttod der Zelle noch nicht eingetreten, das Chlorophyll aber an einer localen Stelle der Zelle bereits ganz oder theilweise zerstört ist.

Die Entfärbung erfolgt verhältnissmässig langsam und ist im Beginne der Lichtwirkung, also am Anfange der Insolation noch so gering, dass es, wenn man den Versuch kurz — etwa eine Minute — nach seinem Beginne unterbricht, oft schwer hält, sich von der eingetretenen Entfärbung zu überzeugen und dieselbe nur durch einen sehr genauen Vergleich der insolirten mit der nicht insolirten benachharten Stelle constatiren kann. Man kann daher den Versuch bei jedem beliebigen Grade der Entfärbung des Chlorophyllfarbstoffes zum Abschluss bringen.

Zu solchen Versuchen eignen sich die längeren Nitella-Zellen

vorzüglich. Ich habe bereits früher erwähnt, dass sie, wenn sie an einer localen Stelle insolirt werden, sich nachher ungestört Wochen und Monate lang lebend erhalten und weiter wachsen.

Wie gross oder wie klein immer in Folge der Insolation die Entfärbung der Chlorophyllkörper an der insolirten Stelle auch gewesen sein mag, der Farbstoff stellt sich später in ihnen nicht wieder her.

Lösen sich — wie dies bei kurzer Insolation gewöhnlich der Fall ist — die schwach entfärbten Chlorophyllkörper der insolirten Stelle von der Wand ab und fallen sie dann in die Stromebene hinab, so entblösst sich hierdurch nach und nach die insolirte Stelle ganz von ihren Chlorophyllkörpern und wird völlig nackt (Fig. 5 Taf. XII.). Die vom Strom fortgerissenen Chlorophyllkörper entfärben sich jetzt nach und nach auch ohne weitere Insolation immer mehr, und erblassen endlich vollständig; die nackte Stelle bleibt aber nackt und an ihr findet auch keine Wiedererzeugung von neuen Chlorophyllkörpern mehr statt.

Diese Erfahrungen, die ich hier über die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes in der lebenden Pflanzenzelle mitgetheilt habe, führen zu dem Schluss, dass die Zerstörung des Chlorophylls, wo immer sie in der Natur eintreten möchte, ein pathologischer, der Pflanze schädlicher Process ist, aber nicht, wie man mehrfach behaupten wollte, ein normaler Vorgang sein kann, der im Assimilationsprocesse des Kohlenstoffes seine nothwendige Stelle einnimmt.

Ich glaube deshalb hier auch die weitläufige Literatur nicht im Einzelnen besprechen zu müssen, die sich seit Sennebier über die Frage nach der Zerstörung des Chlorophylls im Lichte und nach dem physiologischen Werthe dieses Vorganges angehäuft hat.

Schon über die Thatsache der Zerstörung, und über die relative Energie, welche hierbei die verschiedenenen Farben entwickeln, und mehr noch über die mögliche Bedeutung des Vorganges im Leben der Pflanze gingen die Meinungen weit auseinander. Zwingende und überzeugende Gründe wurden allerdings für keine geltend gemacht, denn die empirischen Grundlagen, welche in den Beobachtungen vorlagen, waren hierzu nicht ausreichend.

Man versuchte der Frage näher zu treten einerseits durch Unter-

suchung der Veränderungen, welche die aus der Pflanze gewonnenen grünen Chlorophyllösungen im Lichte erleiden, anderseits durch Beobachtungen, die sich an Pflanzen im Freien, an ihren natürlichen Standorten von selbst darbieten. Das Verhalten der Chlorophyllösungen kann aber nicht ohne Weiteres auf die Verhältnisse in den lebenden Zellen übertragen werden, und die Beobachtungen im Freien, das Erbleichen, Gelbwerden und die Verfärbung von Pflanzentheilen, die namentlich im Winter den directen Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, fassen das Phänomen unter zu complicirten Bedingungen, unter welchen die verschiedensten schädlichen Ursachen zusammenwirken.

Wir sehen daher die Einen die Ursache der Entfärbung dem Frost, die Anderen der Wärme, die Dritten dem Lichte zuschreiben.

Auch die Versuche, die Frage direct und experimentell anzugreifen, sind nicht mit derjenigen Vorsicht unternommen worden, welche die exacte Lösung einer naturwissenschaftlichen Aufgabe verlangt.

Wenn Gewebe und zumal Gewebe von Landpflanzen — wie dies bei diesen Versuchen geschehen ist — tage- und wochenlang in Wasser macerirt werden, dann müssen selbstverständlich die Erscheinungen der Erkrankung und des Todes mit allen ihren nothwendigen Folgen in ihnen eintreten; zu diesen gehören dann auch die Verfärbung und das Erbleichen der Gewebe, und die Zerstörung der Chlorophyllkörper.

Mehr oder weniger bleibt es in allen hierher gehörigen Versuchen ungewiss und zweifelhaft, ob die beobachteten Entfärbungen directe Lichtwirkungen sind oder secundäre Folgen der eingetretenen Erkrankung und Zerstörung in den Geweben.

Auch bezüglich dieser Versuche will ich daher ohne eingehendere und specielle Kritik nur auf die Literatur des Gegenstandes verweisen, die ich hier unten zusammenstelle.[1])

---

1) Nähere oder entferntere Angaben, die sich auf die im Text behandelte Frage nach der Zerstörung des Chlorophylls in der lebenden Pflanze beziehen, finden sich in folgenden Abhandlungen:

Mohl: Ueber die winterliche Färbung der Blätter, 1837 (Vermischte Schriften XIX.).

Sachs: Abwechselndes Erbleichen und Dunkelwerden der Blätter bei wechselnder Beleuchtung. Berichte d. Sächs. Gesellsch. d. Wiss., Leipzig 1859; Flora 1862 S. 219–221; Handbuch der Experimentalphysiologie 1865, S. 15 u. 16.

Die Möglichkeit der Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes durch Licht auch in der lebenden Pflanzenzelle kann allerdings nach meinen Versuchen im intensiven Lichte nicht mehr in Abrede gestellt werden, denn sie ist unter Erhaltung des Lebens der Pflanzenzelle in ihnen direct nachgewiesen. Allein jetzt liegen auch die Bedingungen der Zerstörung des Farbstoffes klar vor Augen, da es der Experimentator in der Hand hat, je nachdem er will, in wenigen Minuten die Zerstörung der Farbe im intensiven Lichte auszuführen oder den Versuch so einzurichten, dass sie trotz der intensiven Beleuchtung unterbleibt.

Auf die Frage endlich, ob unter den natürlichen Bedingungen der Vegetation eine regelmässige Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes im normalen Stoffwechsel der Pflanzenzelle eintritt, werde ich noch später zurückzukommen haben. —

Nicht blos der Chlorophyllfarbstoff, auch andere, gelbe, blaue, rothe Farbstoffe werden unter denselben Bedingungen im intensiven Lichte und im Sauerstoff in der Pflanzenzelle zerstört.

Doch keineswegs alle Farbstoffe, die sich in den Pflanzen vorfinden.

Es bedarf umfassender Beobachtungen, um hier die durch Licht zerstörbaren und die nicht zerstörbaren abzugrenzen und zu allgemeinen Schlüssen zu gelangen, die vielleicht vorhandene Beziehungen zwischen der Zerstörbarkeit der Farbstoffe des Zellinhaltes im Licht und ihrem genetischen Zusammenhange mit dem Chlorophyllfarbstoff

Askenasy: Zur Kenntniss des Chlorophylls. Bot. Ztg. 1867, S. 228—229.
Kraus: Ueber winterliche Verfärbung immergrüner Gewächse. Bot. Zeit. 1872, S. 109.
Batalin: Ueber Zerstörung des Chlorophylls in lebenden Organen. Bot. Zeit. 1874, S. 433.
Wiesner: Ueber die Beziehung des Lichtes zum Chlorophyll. Sitzungsber. der Wien. Akad 1874.
Askenasy: Ueber Zerstörung des Chlorophylls lebender Pflanzen durch Licht. Bot. Zeit. 1875, S. 457.
Haberlandt: Ueber die Winterfärbung ausdauernder Blätter. Sitzungsber. der Wien. Akad. 1876.
Wiesner: Die natürlichen Einrichtungen zum Schutz des Chlorophylls. Wien 1876.
Böhm: Ueber Verfärbung grüner Blätter im intensiven Licht. Landw. Vers.-Stationen 1877, S. 463.

aufdecken können, denn die verschiedenen Farbstoffe verhalten sich unter gleichen Umständen verschieden.

So scheint der rothe Farbstoff, welcher viele Ruhesporen der Algen, namentlich die befruchteten Oosporen auszeichnet, im Lichte nicht zerstörbar zu sein, oder vielleicht nur äusserst schwer zerstörbar. Dagegen erblasst der stahlblaue Farbstoff der Phycochromaceen — Oscillarineen, Nostocaceen u. s. w. —, der braune Farbstoff der Diatomaceen, Phaeosporeen und Fucaceen und der rothe Farbstoff der Florideen, wie es scheint, in allen Modificationen, in welchen diese Farben auftreten können, im intensiven Lichte fast ebenso leicht, als der eigentliche Chlorophyllfarbstoff der grünen Gewächse.

Die Blüthenfarbstoffe verhalten sich, wie es scheint, sehr verschieden. So werden die gelb-rothen Farbstoffe in den Zungenblüthen von Calendula leicht völlig farblos im intensiven Licht, während die von Narcissus poeticus sich unter den gleichen Umständen nicht entfärben. Die blaue Zellflüssigkeit von Tradescantia virginica verliert ihren Farbstoff leicht, während andere blaue Blüthenfarben schwer oder gar nicht zerstörbar scheinen. Die gleichzeitige Insolation der blauen Filamenthaare von Tradescantia virginica und ihrer gelben Pollenkörner im Versuche 48 (Taf. XV. Fig. 2, 3) ist geeignet, dies verschiedene Verhalten der Farben unter gleichen Umständen zu illustriren.

Diese Beispiele mögen genügen. Ausführlicheres behalte ich späteren Mittheilungen vor.

2. Das Grundgerüste der Chlorophyllkörper und seine Einschlüsse im intensiven Licht.

Ein besonderes Interesse bei den Versuchen im intensiven Licht nimmt die Grundsubstanz der Chlorophyllkörper mit ihren Einschlüssen in Anspruch,

Die Chlorophyllkörper dienen in den grünen Gewächsen nicht bloss als Organe der Assimilation — als welche man sie jetzt ausschliesslich bezeichnet —, sondern sie sind vorwiegend Organe der Athmung.

Die morphologischen und microchemischen Veränderungen, welche ihre Substanz und ihre Einschlüsse im intensiven Lichte er-

leiden, sind geeignet, diese ihre doppelte Function im Gaswechsel zu veranschaulichen.

Wenn auch die grünen Organe im Lichte Sauerstoff abgeben, so darf man doch den Umstand nicht ausser Acht lassen, dass die Chlorophyllkörper vermöge ihrer Structur und chemischen Beschaffenheit den Sauerstoff nothwendig in hohem Grade binden und zugleich auf das entstehende Assimilationsproduct übertragen müssen. Nach ihrem Verhalten zum Sauerstoff und zum Lichte wird man daher auch den physiologischen Werth der Substanzen zu beurtheilen haben, die in den Chlorophyllkörpern gebildet und abgelagert werden.

Schon die anatomische Grundlage, die Feststellung der Anzahl und der Verbreitung specifischer Bildungsproducte in den Chlorophyllkörpern verlangt eine kurze Erörterung.

Am gründlichsten ist, bekanntlich der Stärkegehalt der Chlorophyllkörper untersucht worden.

Nachdem, wie man weiss, zuerst Mohl[1]) durch seine umfassenden Untersuchungen die weite Verbreitung der Stärke im Chlorophyll nachgewiesen und später Böhm[2]) durch die von ihm verbesserte Jod-Reaction ein Mittel zur leichteren Erkennung der Stärke im Chlorophyllkorn aufgefunden hatte, fing man fast allgemein an, die Stärke als ein nothwendiges Bildungsproduct der Chlorophyllkörper zu betrachten.

Allein schon Mohl gab an, dass viele Pflanzen in ihren Chlorophyllkörpern keine Stärke besitzen. Bei einigen Pflanzen, welche Mohl mit negativem Erfolge untersucht hatte, fand zwar Böhm dann

1) Untersuchungen über die anatomischen Verhältnisse des Chlorophylls, Dissertation vom Jahre 1837 (Vermischte Schriften XXVI.) und Ueber den Bau des Chlorophylls, Bot. Zeit. 1855. Schon in dem ersten Aufsatze vom Jahre 1837 spricht Mohl die Ansicht aus, dass die Stärkeeinschlüsse der Chlorophyllkörper als Reservenahrung in der Pflanze abgelagert würden. Er sagt dort: „Fragt man „nach dem physiologischen Zwecke, welchen die Natur durch diesen Absatz von „Amylum in den Blättern erreicht, so möchte wohl darauf zu antworten sein, dass „es eine Reservenahrung ist, dazu bestimmt, um bei den nur einmal blühenden „Gewächsen zur Entwickelung der Frucht verwendet zu werden und um bei den „ausdauernden, im Winter ihre Blätter verlierenden Gewächsen im Herbste in den „Stamm übergeführt und daselbst als Material niedergelegt zu werden, auf dessen „Kosten sich im nächsten Frühjahr die Knospen entwickeln sollen.“

2) Beiträge zur Kenntniss des Chlorophylls. Sitzungsber. d. Wien. Akad., November 1856.

noch Stärke, allein er macht zugleich selbst einige Pflanzen namhaft, welche absolut frei von Stärke sind; so besonders Allium fistulosum, Asphodelus luteus, Orchis militaris, Lactuca sativa, die seither immer als Beispiele für stärkefreie Chlorophyllkörper in den Lehrbüchern angeführt werden.

Man wurde aber bald darauf aufmerksam, dass die Chlorophyllkörper auch farblose Einschlüsse enthalten, die nicht Stärke sind, und die man allgemein für Fett- oder Oeltropfen ansah.

So zeigte ich selbst schon 1855 in meinem ersten Aufsatze über die Befruchtung[1]), dass bei einer Alge, der Vaucheria sessilis, die Chlorophyllkörper zwar gleichfalls frei von Stärke sind, dass dafür aber Oel zwischen denselben vorkomme und als Bildungsmaterial in den Oogonien angesammelt werde. Später vermehrte namentlich Nägeli[2]) die Beispiele, in welchen Fetttropfen neben oder anstatt Stärke in den Chlorophyllkörpern vorkommen, durch Hinweis auf Rhipsalis funalis, Cereus variabilis und die nicht grünen Süsswasser- und Meeres-Algen. Dann machte wieder Sachs[3]) darauf aufmerksam, dass bei Allium Cepa Stärke in den Chlorophyllkörpern fehlt, und endlich wies Briosi[4]) ausführlich und eingehend nach, dass auch in der Familie der Musaceen Stärke in den Chlorophyllkörpern durchweg fehle, dafür aber eine normale Bildung von Fetttropfen in ihnen erfolgt, von denen er sich zugleich überzeugen konnte, dass sie regelmässig aus ihnen hervortreten.

Hiermit ist aber die Liste der Pflanzen, deren Chlorophyllkörper keine Stärke führen, noch lange nicht erschöpft und ebensowenig die Liste der Pflanzen, deren Chlorophyllkörper Fetttropfen enthalten. So werden noch hier und da Selaginella, Cycas, Stratiotes aloides, Lilium Martagon, Olea Europaea, Begonia als Pflanzen mit Chlorophyllkörpern ohne Stärke genannt.

Unter den hierher gehörigen Pflanzen, die ich noch nennen will, weil sie in den hier mitgetheilten photochemischen Versuchen

---

1) Monatsberichte der Berl. Akad. d. Wiss. vom März 1855. — S. 6 des Separats-Abdrucks.

2) Die Stärkekörner. Seite 398 u. f. Pflanzenphysiologische Untersuchungen Heft 2, 1858.

3) Bot. Zeit. 1862, S. 369; Flora 1863; Experimentalphysiologie S. 28

4) Bot. Zeit. 1873, S. 529 u. f.

Verwendung gefunden haben, ist z. B. die Existenz von kleinen, glänzenden Fetttropfen in den grünen Bändern der Spirogyren längst bekannt. Ebenso besitzen aber auch die Chlorophyllkörper der Characeen häufig anstatt oder neben Stärke farblose Fetttropfen, die — wie bei den Musaceen — aus ihnen im Laufe der Entwickelung hervortreten.

Man hat bei der Function der Chlorophyllkörper fast nur auf Stärke und Fetttropfen Rücksicht genommen, weil dies die einzigen Formelemente sind, die bisher morphologisch erkennbar in der Grundsubstanz aufgefunden wurden. Nur in einigen Fällen, in welchen weder Stärke noch Fett gefunden wurde, nahm man noch an, dass in den Chlorophyllkörpern Glycose oder Mannit gebildet werde, weil diese Körper reichlich in den Blättern vorhanden waren.

Allein Stärke und Fetttropfen sind keineswegs die einzigen Bildungsproducte der Chlorophyllkörper, nicht einmal die einzigen direct in den Chlorophyllkörpern anatomisch sichtbaren. So habe ich einen Fall gefunden, welcher zeigt, dass auch höher oxydirte Körper aus der Klasse der organischen Säuren unmittelbar in den Chlorophyllkörpern gebildet werden und der es zugleich höchst wahrscheinlich macht, dass unter den sogenannten farblosen Fett- und Oeltropfen, welche in so vielen Chlorophyllkörpern beobachtet werden, sich sehr verschiedene Producte verbergen mögen.

Bei Mesocarpus scalaris[1]) finden sich in allen Entwickelungsstadien der Pflanze in jeder Zelle eine grosse Anzahl fettartiger, glänzender, tropfenförmiger Bildungen (Fig. 5—8 Taf. XV), die man auf den ersten Blick, da sie auch in Alcohol und Aether verschwinden, leicht für Fett- oder Oeltropfen halten könnte, zumal sie grosse Aehnlichkeit mit den allerdings kleineren Tropfen besitzen, die so oft in den Spirogyra-Bändern auftreten.

Diese Tropfen werden sichtlich von der Chlorophyllplatte der Zelle gebildet und secernirt, sie bedecken dieselbe in grosser Zahl und in verschiedener Grösse, treten aus ihr, wie man namentlich in der Profillage deutlich sehen kann, unmittelbar hervor und werden

---

1) Ich habe diese Pflanze so bestimmt, obgleich ich sie nur in beginnender Copulation untersucht habe. Es sind die bekannten Fäden, die man früher allgemein als Mougeotia genuflexa zusammenfasste.

von hier aus in das Protoplasma der Zelle übergeführt. Diese Bildungen sind aber keine Fetttropfen, sondern mit einer resistenten Hülle versehene Bläschen, die in ihrem Inhalt Gerbstoff führen. Dass sie ganz und gar aus Gerbstoff bestehen, soll nicht behauptet werden und ist auch kaum anzunehmen; sie enthalten aber bedeutende Mengen von Gerbstoff innerhalb einer hüllenartigen Umgrenzung.

Sie mögen daher immerhin Gerbstoffbläschen heissen.

Die dunklen Färbungen und farbigen Niederschläge mit Eisensalzen (Fig. 7 Taf. XV), mit Kalibichromat und Millons Reagens (Fig. 8, 9 Taf. XV) lassen über ihre chemische und anatomische Beschaffenheit keinen Zweifel.

Diese Gerbstoffbläschen sind in der Zelle in ihrer Form sehr leicht zerstörbar. Schon geringe Eingriffe durch Wärme und mechanische Reize, namentlich aber alle Störungen, welche den Tod der Zelle zur Folge haben, vernichten sie scheinbar sofort, indem ihr Inhalt verschwindet oder sich vielmehr mit dem Zellsaft mischt.

Aber ihre Hüllen bleiben, wenn auch unscheinbar und etwas zusammengefallen an der Chlorophyllplatte haften, bekleiden dieselbe netzartig und geben ihr hierdurch ein schaumartiges Aussehen (Fig. 10 a b und Fig. 11 Taf. XV).

Zu den genannten Bildungsproducten der Chlorophyllkörper — Stärke, Fett, Zucker?, Gerbstoff — treten nun als unterscheidbare Bestandtheile in ihnen noch die Substanzen hinzu, deren Existenz in den Chlorophyllkörpern ich in dem ersten Abschnitte dieses Aufsatzes nachgewiesen habe, nämlich das ganz allgemein in den Chlorophyllkörpern verbreitete und in ihre Constitution gehörige Oel, welches den Chlorophyllfarbstoff aufgelöst hält, und endlich das Hypochlorin, welches in allen grünen Chlorophyllkörpern als normales Product ihrer Function erscheint.

Es unterliegen aber diese verschiedenen Bestandtheile und Einschlüsse der Grundsubstanz der Chlorophyllkörper bei meinen Versuchen im intensiven Lichte durchaus nicht sämmtlich und nicht in gleicher Weise der Einwirkung des Lichtes. Die einen werden vom Lichte afficirt, die anderen nicht, und so gewinnt man vermittelst dieser directen photochemischen Methode einen unmittelbaren Einblick in die Beziehungen der Bestandtheile des Chlorophyllkörpers zur

Athmung und zwar direct zur Sauerstoff-Aufnahme der grünen Gewächse.

Zunächst die Grundsubstanz selbst.

Sie bleibt nach der Insolation der Chlorophyllkörper in einem Zustande zurück, der viel Aehnlichkeit hat mit dem Zustande der Grundsubstanz von Chlorophyllkörpern, welche durch Alkohol, oder andere Lösungsmittel entfärbt und entölt sind.

Die belichteten Chlorophyllkörper erscheinen farblos, aber mit ihren unveränderten ovalen oder polyedrischen Formen (Taf. XII. Fig. 6, 7). Selbst die zackigen Chlorophyllbänder der Spirogyren behalten ihre Form bei und besitzen meist noch die Auszackungen ihres Randes, die im lebenden Zustande so veränderlich sind (Taf. XIII. Fig. 14, Taf. XIV. Fig. 2). Nur hin und wieder findet man diese Zacken eingezogen, das Band in seiner Breite contrahirt oder den zackigen Rand unter der Einwirkung des intensiven Lichtes umgebogen, etwa in der Weise, wie freie Chlorophyllkörper im starken Lichte Profillage annehmen. Solche Contractionen und Bewegungen werden in den Fällen sichtbar, in welchen die schädlichen Grade der Lichtwirkung langsam eintreten, in welchen also eine immerhin beträchtliche Zeit verstreicht, bis der Lichttod des Bandes eintritt.

Auch seiner Structur nach bildet das durch Licht entfärbte Chlorophyllkorn oder Chlorophyllband ein mehr oder minder deutliches, schwammförmiges Gerüste, welches vollkommen den Gerüsten gleicht, die — wie ich dies früher zeigte — durch andere Behandlungsweisen, durch Lösungsmittel, verdünnte Säuren, feuchte Wärme aus den Chlorophyllkörpern gewonnen werden können.

Ueber die chemischen Eigenschaften dieses Gerüstes lässt sich kaum etwas Bestimmteres aussagen, wenn man den wenig bezeichnenden Ausdruck, dass dasselbe protoplasmatische Beschaffenheit zeigt, vermeiden will. In noch höherem Grade als das Protoplasmanetz hat das Gerüst die Eigenschaft, Jod und Farbstoffe aufzuspeichern, eine Eigenschaft, die vermuthlich hier wie dort mit der porösen Beschaffenheit der Bildungen zusammenhängt. Unbedingt aber hat die Substanz, aus welcher das Gerüste besteht, durch die Insolation eine Veränderung seiner Beschaffenheit erfahren. Dies geht daraus hervor, dass die entfärbten Chlorophyllkörper eine grössere Resistenzfähigkeit gegen äussere Einflüsse zeigen, als die nicht entfärbten grünen.

Tödtet man eine Nitella-Zelle durch Insolation an einer kleinen begrenzten Stelle in kurzer Zeit (Taf. XII. Fig. 2), so dass die entfärbten Chlorophyllkörper nun unbeweglich an der insolirten Stelle liegen bleiben, so sieht man bald darauf alle gewöhnlichen Todeserscheinungen längs des ganzen Schlauches, d. h. an allen grün gebliebenen nicht insolirten Stellen des Schlauches eintreten.

Unter den gewöhnlichen Ablösungserscheinungen des Plasmaschlauches von der Wand gerathen hier die grünen Chlorophyllkörper in Unordnung, indem die Reihen, die sie bilden, sich auflösen (Fig. 3 Taf. XII) und verlieren, indem sie Wasser aufnehmen und quellen, ihre normale Gestalt und verwandeln sich hierbei, indem sie nach und nach zu Grunde gehen, in jene Chlorophyllbläschen, die schon Göppert und Cohn [1]) beschrieben haben.

Die entfärbten Chlorophyllkörper der insolirten Stelle verhalten sich dagegen durchaus anders.

Sie bleiben in ihrer Wandlage, zeigen höchstens geringe Störungen in der Anordnung ihrer Reihen (Fig. 3 Taf. XII), sie verändern ferner ihre Gestalt nicht, zeigen namentlich nirgends Spuren der starken Quellung, wie sie die benachbarten grünen nicht insolirten erleiden und man findet sie endlich noch nach Monaten auch in Präparaten, die in Wasser liegen, nahezu unverändert in Form und Beschaffenheit vor (Fig. 6, 7 Taf. XII.), nachdem ihre benachbarten grünen Chlorophyllkörper längst zu Grunde gegangen sind.

Ebenso beständig sind die im Licht entfärbten Chlorophyllbänder der Spirogyren.

Es ist bekannt, wie leicht durch allerlei schädliche oder Todes-Ursachen — z. B. durch höhere Wärmegrade, durch mechanische Verletzung u. s. w. — die Bänder der Spirogyren ihre Gestalt aufgeben, sich contrahiren, in Stücke reissen, oder unter verschiedenen Formen aufquellen und zu wurstartigen Schläuchen werden. Die durch Licht getödteten Spirogyrenbänder erstarren dagegen in ihrer normalen Form mit allen Configurationen des Bandes, die sie besitzen (Fig. 2 u. 4 Taf. XIV.) und verharren später unabänderlich in dieser Gestalt ganz so, wie dies nur noch geschieht, wenn sie durch Alkohol oder andere Lösungsmittel vorher vollständig entfärbt und entölt sind.

---

1) Bot. Zeit. 1849, S. 681.

Das gleiche Verhalten zeigen überhaupt alle geformten Chlorophyllmassen der Pflanzenzellen. Es verliert daher die Substanz des Chlorophyllkörpers durch die Einwirkung des Lichtes ihre Quellungsfähigkeit in Wasser und wässerigen Lösungen, und hierin, ebenso wie in der Erhaltung ihrer Form im intensiven Lichte, macht sich ein charakteristisches, äusseres Unterscheidungsmerkmal geltend zwischen der Zerstörung der Chlorophyllkörper durch Wärme und der Zerstörung durch Licht.

Unter den Einschlüssen der Grundsubstanz werden diejenigen, die den sauerstoffreicheren Gruppen angehören und als Tropfen, Körner oder Bläschen auch morphologisch im Chlorophyllkorn leicht kenntlich sind, vom intensiven Lichte gar nicht afficirt.

So verhalten sich die Stärkekörner, Fetttropfen und Gerbstoffbläschen.

Die Stärkeeinschlüsse und der Stärkegehalt der Chlorophyllkörper überhaupt zeigen sich bei allen Versuchen im intensiven Licht auch im weissen Sonnenbild und im Sauerstoff unzerstörbar.

In den durch Licht entfärbten Spirogyrabändern findet man die Amylumheerde mit ihren Stärkeeinschlüssen intact wieder. Sie sind unverändert und färben sich, wie früher, mit der der Concentration der Jodlösung entsprechenden Farbe (Fig. 3, 4; ferner a b c d Fig. 9 und c d Fig. 10 Taf. XIII). Ebenso verhalten sich kleinere und grössere Stärkekörnchen ausserhalb der Amylumheerde bei anderen Pflanzen, und ebenso zeigen auch die im Licht entfärbten Chlorophyllkörner der Characeen, Moose (a b Fig. 5 Taf. XI.), Farne und Phanerogamen, welche vorher einen Stärkegehalt besassen, denselben auch nachher durch die Jod-Reaction in der gewöhnlichen Weise an.

Man kann sich ferner aber auch überzeugen, dass mit der Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes im Lichte keine Bildung von Stärke verknüpft ist.

Haben die Chlorophyllkörper vor der Insolation schon Stärkeeinschlüsse besessen, so finden sich, wie gesagt, dieselben nach der Insolation ohne Veränderung in ihnen wieder; besassen sie vorher noch keinen Stärkegehalt, so besitzen sie auch nachher keinen. Dies ist endlich, was ich noch besonders erwähnen will, auch bei vorher im Finstern entstärkten Chlorophyllkörpern der Fall.

Da das intensive Licht, wie die eben angeführten Versuche er-

weisen, die vorhandene Stärke in den Chlorophyllkörpern nicht zerstört, so folgt daraus nothwendig, dass die Stärke im intensiven Licht nicht blos nicht zur Ablagerung gelangt, sondern überhaupt während der Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes nicht gebildet wird. Ich darf daher schliessen:

Wie keine Zerstörung, ebenso findet auch Bildung oder Vermehrung von Stärke im intensiven Lichte nicht statt.

Ich will hierzu sogleich bemerken, dass diese unzweifelhafte Thatsache der bekannten Erfahrung durchaus nicht Abbruch thut, oder widerspricht, wonach sich die Stärke im Tageslicht in den Chlorophyllkörpern ansammelt. Die Erklärung dieser Erscheinung liegt nach meiner Ansicht einfach darin, dass die Stärke überhaupt nicht direct durch die Assimilation gebildet wird. Wenn im weniger intensiven Lichte die Stärke in den Chlorophyllkörpern sich ansammeln kann, so ist der Grund davon der, dass das Licht nicht intensiv genug ist, um das Bildungsmaterial zu zerstören, aus welchem die Stärke im Chlorophyllkörper entsteht.

Aehnliches, wie von den Stärkekörnern, gilt aber auch von den Fetttropfen in und ausserhalb der Chlorophyllkörper. Dies gilt namentlich für alle diejenigen farblosen und fettartigen Tropfen in den Chlorophyllkörpern, die man als wirkliche Fetttropfen zu betrachten geneigt ist und die nicht etwa ätherische Oele sind. So z. B. für die Fetttropfen in den Bändern der Spirogyren (Taf. XVII. Fig. 4, 5; Taf. XXIII. Fig. 4, vergl. die Erklärung der Abbildungen); für die in den Chlorophyllkörpern der Characeen; für die von Vaucheria, von Fontinalis u. s. w.

Endlich sind auch die Gerbstoffbläschen von Mesocarpus durch Licht allein gleichfalls unzerstörbar.

Ich habe bereits oben Seite 355 mitgetheilt, dass die Gerbstoffbläschen dieser Pflanze sehr leicht bei allerlei schädlichen Einwirkungen in der Zelle zerstört werden. Es ist daher nur selbstverständlich, dass sie auch zu Grunde gehen, wenn die Zelle durch Licht getödtet wird; es ist aber hier deutlich sichtbar, dass ihre Zerstörung erst als eine secundäre Todeserscheinung erfolgt, nachdem der Tod der Zelle durch Licht bereits eingetreten ist.

Da das Verhalten der Gerbstoffbläschen zugleich ein instructives

Beispiel ist für die verschiedene Wirkung der Farben, so mögen die Erscheinungen bei Mesocarpus im blauen und rothen Licht hier nochmals gegenüber gestellt werden. Im rothen Licht werden zuerst die Gerbstoffbläschen vernichtet, der Inhalt fällt zusammen und die Chlorophyllplatte contrahirt sich, aber die Farbe der Chlorophyllplatte bleibt völlig unverändert (Fig. 11 Taf. XV.). Im blauen Licht (Fig. 10 Taf. XV) wird in derselben und in kürzerer Zeit die Farbe der Chlorophyllplatte zerstört, die Platte contrahirt sich, der Zellinhalt fällt zusammen, aber die Gerbstoffbläschen bleiben zunächst, und noch einige Zeit nachher, intact bestehen und zerfliessen erst später, auch wenn die Insolation vorher bereits aufgehört hatte.

3. Das Hypochlorin im intensiven Licht.

Ganz verschieden von den bisher besprochenen Einschlüssen der Chlorpohyllkörper verhält sich im Lichte das Hypochlorin.

In den vom Lichte getroffenen Zellen und gerade so weit, als sie vom Lichte getroffen werden, fehlt jede Spur von Hypochlorin. Genauer sind die Erscheinungen, die hierbei beobachtet werden, folgende:

Werden die Zellen eines Algen-Fadens, z. B. von Oedogonium, Spirogyra, Cladophora, Mesocarpus u. s. w., im Lichte entfärbt, so bleiben, wie bereits mehrfach mitgetheilt, die nicht insolirten Zellen des Fadens intact erhalten. Uebergiesst man nun einen solchen Faden mit verdünnter Salzsäure, so wird jetzt (Taf. XIV. Fig. 1, 2, 3) das Hypochlorin in den nicht insolirten Zellen nach wenigen, 6—24 Stunden in der beschriebenen Weise in Form der rostbraunen Bildungen am Rande der Bänder und an den Amylumheerden sichtbar, die vorher insolirten Zellen (b c d in Fig. 1, die Endzelle in Fig. 2, und a b c d Fig. 3) zeigen dagegen kein Hypochlorin mehr. Soweit die Wirkung des Lichtes reichte, so weit fehlt dasselbe, in den Endwindungen der Zelle a und d Fig. 3 ist es noch erhalten, weil diese schon ausserhalb des Sonnenbildes lagen.

Genau dasselbe zeigt sich an wahren Chlorophyllkörpern.

Ein an einer localen Stelle im Sonnenbilde entfärbter Nitella-Schlauch (Fig. 2 Taf. XXIV) zeigt später mit Salzsäure übergossen (Fig. 3 Taf. XXIV) in den entfärbten Chlorophyllkörpern kein Hypochlorin mehr, während es die benachbarten nicht insolirten

Chlorophyllkörper gewöhnlich noch in normaler Weise besitzen. Doch kommt hier öfters schon der Fall vor, dass das Hypochlorin in dem ganzen Schlauche, der zum Versuche benutzt wurde, an allen grünen Chlorophyllkörpern fehlt, auch an denen, die ausserhalb der localen Stelle lagen, welche insolirt und entfärbt wurde. Es hat sich dann die zerstörende Wirkung des Lichtes auf das Hypochlorin über die unmittelbar getroffene Stelle der Zelle hinaus fortgesetzt und verbreitet. Es ist dies leicht verständlich, denn ich habe bereits früher mitgetheilt, dass das Hypochlorin zu den am leichtesten zerstörbaren Körpern der Pflanzenzelle gehört. Schon bei geringen Temperaturerhöhungen, bei mechanischen Störungen, bei spontanen Erkrankungen der Zelle (Fig. 1, 2 Taf. XXIII) kann das Hypochlorin, wie ich Seite 310 zeigte, selbst bei völlig intacter Erhaltung des Chlorophyllfarbstoffes in der Zelle zerstört werden.

Kurz, das Verschwinden des Hypochlorins ist das früheste Zeichen einer schädlichen Einwirkung auf die Pflanzenzelle und seine Zerstörung erfolgt daher auch bei Einwirkung von intensivem Lichte früher als die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes.

Wird z. B. bei Spirogyra die Insolation schon kurz nach Beginn des Versuches unterbrochen, bevor noch der Chlorophyllfarbstoff der Bänder vernichtet ist (Fig. 5 Taf. XIV.) und wird dann der Faden mit Salzsäure begossen, so findet sich auch jetzt in den wenig oder halb entfärbten Bändern der insolirten Stelle (b c d) das Hypochlorin nicht mehr vor, obgleich es in den nicht insolirten Bändern in der gewöhnlichen Weise vorhanden ist.

Zur völligen Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes in den Bändern der Spirogyra jugalis, deren Fäden Fig. 5 Taf. XIV. darstellt, sind bei der Lichtintensität, die in meinen Versuchen wirksam ist, mindestens 5—6 Minuten nöthig. Zur Zerstörung des Hypochlorins in ihnen genügen unter gleichen Umständen schon 2—3 Minuten.

Insolirt man unter den nothwendigen Massregeln ein microscopisches Präparat irgend eines grünen Gewebes, z. B. aus dem Blatte von Vallisneria spiralis (Fig. 10 Taf. XIV.) nur an einer local beschränkten Stelle, so dass ein Stück desselben vom Sonnenbilde getroffen wird, das Uebrige nicht, so drückt sich, wenn man das Präparat nachher mit Salzsäure behandelt, die hier besprochene,

im Verhältniss zum Chlorophyllfarbstoff auffallend grössere Empfindlichkeit des Hypochlorins gegen Lichtwirkung sehr scharf in denjenigen Zellen aus, die der unmittelbar insolirten Stelle zunächst gelegen sind. In dem Präparat Fig. 10 lag das Stück des Gewebes b—b vollständig im Sonnenbild, das Stück c wurde nur vom Sonnenbilde gestreift und erlag daher nur der Wirkung des Randes und der Zerstreuungskreise, das Stück d endlich lag ganz ausserhalb der Wirkung des Sonnenbildes.

Dem entsprechend ist nun die Zerstörung des Hypochlorins und des Chlorophyllfarbstoffes in den Zellen b—b eine totale und in den Zellen c nur eine partielle. Hier aber ist es zugleich unverkennbar, dass das Hypochlorin stärker gelitten hat, als der Farbstoff und oft gänzlich verschwunden ist, wo dieser mehr oder weniger erhalten blieb. In den vom Centrum der Lichtwirkung entfernten Zellen des Stückes d tritt dann das normale Verhältniss zwischen Chlorophyllfarbstoff und Hypochlorin in dem Gewebe zu Tage.

4. Das Protoplasma der Zelle und ihr Turgor im intensiven Licht.

Der Turgor der vom intensiven Lichte getroffenen Zelle schwindet unter der Einwirkung des Lichtes. Bei den grosszelligen Algenfäden fällt dies sofort ins Auge, denn die vorher senkrechten Zwischenwände zwischen den belichteten und nicht belichteten Zellen wölben sich erheblich in die ersteren hinein (Fig. 1, 2 Taf. XI.; Fig. 8 Taf. XIII. u. s. w.). Die Spannung in den belichteten Zellen hält nicht mehr der Spannung der nicht belichteten Zellen das Gleichgewicht und die Ursache liegt offenbar in der grösseren Durchlässigkeit für den Zellsaft, welche der protoplasmatische Wandbeleg der belichteten Zellen unter dem Einflusse des Lichtes gewinnt.

Dass seine Permeabilität steigt, zeigt die Verringerung seines Filtrationswiderstandes bei Versuchen mit Farbstofflösungen, die in gesunde Zellen nicht eindringen.

Legt man z. B. einen Spirogyra-Faden mit einigen ganz oder halb im Licht entfärbten Zellen in eine wässerige Lösung von Anilinblau, so dringt der Farbstoff sofort ohne Hinderniss in die belichteten Zellen ein (Fig. 8 Taf. XIII.), während die nicht belichteten bekanntlich noch nach Tagen ungefärbt bleiben.

Ebenso bei den belichteten Nitella-Schläuchen.[1]) Hier dringt der Farbstoff häufig in deutlich ausgesprochener Weise durch die unmittelbar belichtete Stelle früher und leichter ein, als durch den nicht belichteten Theil des Schlauches.

Es ist nun wichtig, zu constatiren, dass diese grössere Permeabilität mit einer nachweisbaren Veränderung des wandständigen Protoplasma in seiner Structur und seiner Masse verknüpft ist.

Zunächst hat die Substanz desselben, wie man sofort erkennt, unter dem Einflusse des Lichtes ihre Contractilität beträchtlich eingebüsst.

Der sogenannte Primordialschlauch kommt in den belichteten Zellen nicht mehr zu Stande, d. h. um es sachlich richtiger auszudrücken, das wandständige Protoplasma gelangt in ihnen nicht mehr ordentlich zur Contraction, wenn man z. B. einen Spirogyra-Faden nach Belichtung einiger Zellen mit plasmolytischen Reagentien behandelt.

Der Unterschied in der Contraction der belichteten und der nicht belichteten Zellen ist immer vorhanden und deutlich ausgeprägt, wenn auch nicht immer so auffallend und so stark wie in den Fäden Fig. 9 und 10 Taf. XIII. Diese sind, was hier beiläufig noch erwähnt sein mag, nach der Beleuchtung mit einer Lösung von Jod in Jodkalium behandelt.

Andere Reagentien, die den Inhalt zur Contraction bringen,

---

1) Die Schläuche, oder Zellen der Nitellen eignen sich sehr vorzüglich für Versuche mit Farbstofflösungen. Die wässerigen Anilinlösungen bleiben für die Schläuche längere Zeit ganz unschädlich. Diese können wenigstens mehrere Tage in der Lösung — in Präparaten z. B. ganz von ihr bedeckt — liegen, ohne einen wesentlichen Schaden zu erleiden. Sie bleiben nicht nur gesund und zeigen ihren Inhalt in normaler Anordnung und Farbe enthalten, sondern auch ihre Circulation geht ungestört und kräftig fort. Hierbei tingirt sich aber die Zellwand tief, indem sie nach und nach bedeutende Mengen von Anilin aufspeichert. Man sieht dann die gefärbten Schläuche mit normalem Inhalt, sieht durch die tief blau gefärbte Zellwand hindurch die rein grün gebliebenen Chlorophyllkörper und die ungestörte Bewegung des ungefärbten Kreisstromes. Ein interessantes Beispiel der Differenz der Permeabilität für Farbstoffe zwischen Zellwand und Protoplasma, welches für Demonstrationszwecke brauchbar ist. Aehnliche Demonstrationsobjecte lassen sich übrigens auch von Haaren, deren Zellen die Bewegung des Inhalts zeigen, leicht gewinnen.

zeigen dasselbe, und es hängt nur von der Intensität und der Dauer der Lichtwirkung, sowie anderseits von der Mächtigkeit des wandständigen Protoplasma ab, ob dasselbe unter dem Einflusse des Lichtes mehr oder weniger von seiner Contractilität einbüsst.

Aeusserst scharf prägt sich dies Verhältniss wiederum bei dem Tode der Nitella-Zellen durch Licht aus, indem bei diesen längeren Zellen die Differenzen der Contractilität zwischen belichteten und nicht belichteten Stellen innerhalb ein und derselben Zelle zur Erscheinung gelangen.

Die Contraction erfolgt hier in Folge des eintretenden Todes, und nach kräftiger Beleuchtung sogleich, überall in der Zelle, soweit sie nicht insolirt wurde und soweit sie daher noch grün ist, und zwar geschieht dies in der gewöhnlichen bekannten Weise, indem das Protoplasma sich zuerst langsam von der Wand zurückzieht (Fig. 3 Taf. XII.) und später ganz zusammenfällt.

Nur an der belichteten Stelle des Schlauches bleibt die Contraction vollständig oder nahezu vollständig aus.

Gewöhnlich ist das Verhältniss bedeutend stärker ausgeprägt, als in dem gezeichneten Falle, der nur den Beginn der Ablösung im grünen Theile darstellt. Die Reste des durch das Licht veränderten Protoplasma mit den in ihnen eingebetteten Gerüsten der Chlorophyllkörper kann man an der belichteten Stelle noch nach Monaten in ihrer Wandlage wiederfinden.

Offenbar findet hier, wie man sieht, an der belichteten Stelle eine partielle Zerstörung des Protoplasma statt, die seine Contractionsfähigkeit vermindert oder aufhebt, und dieser Umstand weist daher eine unmittelbare Veränderung des wandständigen Protoplasma durch das Licht nach.

Wenn wir uns aber erinnern, dass diese Wirkung des intensiven Lichtes nur bei Gegenwart von Sauerstoff eintritt, so wird klar, dass unter dem Einflusse des Lichtes Bestandtheile des wandständigen Protoplasma unmittelbar mit dem Sauerstoff der Luft zusammentreten und mit demselben verbrennen müssen, und dass in Folge dieser Verbrennung jene Veränderung oder Verminderung seiner Substanz eintritt, durch welche seine Contractionsfähigkeit aufgehoben wird.

In geeigneten Fällen gelingt es nun, den Substanzverlust im

wandständigen Protoplasma, der durch seine Oxydation und Verbrennung im Lichte erfolgt, direct sichtbar zu machen.

Behandelt man nämlich Spirogyrafäden — namentlich einspirige, die keine zu mächtig entwickelte Hautschicht besitzen dürfen —, nachdem einige Zellen des Fadens vorher kräftig belichtet worden sind, nachher mit Reagentien, welche das Protoplasma tief färben, besonders mit Jodlösungen, so findet man (Fig. 3, 4, 10 Taf. XIII.) einen bald mehr, bald weniger auffallenden und bemerkbaren Unterschied zwischen der contrahirten Hautschicht der belichteten (c d in den Figuren) und der nicht belichteten Zellen.

Das zusammengefallene, vorher wandständige Protoplasma der nicht belichteten Zellen bildet auch hier, wie überhaupt in allen Pflanzenzellen nach seiner Contraction zum Plasmaschlauche gar keine continuirliche homogene Schicht [1]), sondern ein contrahirtes Plasmodiennetz, in welchem eingelagerte dichtere Körnchen- oder tropfenartige Bildungen sich von einer gleichmässigen Grundlage abheben. Diese Körperchen sind es, welche vorzugsweise von dem aufgespeicherten Jod tief gefärbt erscheinen. War das wandständige Protoplasma mächtig entwickelt, so sind sie äusserst zahlreich vorhanden (a b c Fig. 3, 4 Taf. XIII.). Bei armen plasmatischen Wandüberzügen dagegen treten sie nur spärlich, oft in verschwindender Menge auf (Fig. 10 Taf. XIII.). Ihre Anzahl hängt nicht nur von Entwickelungszuständen der Zelle, sondern auch von Artunterschieden der Fäden ab.

In den belichteten Zellen (c d Fig. 3, 4 Taf. XIII.) kann man nun in vielen Fällen nach der Belichtung mit Entschiedenheit eine unzweifelhafte Abnahme ihrer Anzahl constatiren. Ich zweifle daher nicht, in diesen Bildungen jene Substanzen zu erkennen, welche im Lichte begierig Sauerstoff aufnehmen, mit demselben verbrennen und den Substanzverlust des wandständigen Protoplasma herbeiführen, der seine Contractionsunfähigkeit durch Belichtung nach sich zieht.

Ich bemerke jedoch, dass bei sehr reichen, und wiederum bei sehr armen Wandüberzügen der sichere Nachweis ihrer Verminderung oft schwer wird und nur durch eine sehr genaue Vergleichung der belichteten und nicht belichteten Zellen möglich ist. Doch wird

---

1) Wie ich dies schon 1854 in meinen „Untersuchungen über den Bau und die Bildung der Pflanzenzelle“ (S. 10 u. f.) nachgewiesen habe.

man anderseits bei einiger Geduld und Ausdauer Beispiele genug finden, die über die Thatsache selbst keinen Zweifel lassen.

Anderweitige auffallende Veränderungen, die im Protoplasma der Zelle nach der Insolation zur Erscheinung kommen, habe ich bei den Insolationsversuchen mit Spirogyren und Nitellen schon mehrfach erwähnt. So bei den Spirogyren die Deplacirung des Cytoblasten und die blasige Anschwellung des Centralplasma, verbunden theilweise mit körnigen Gerinnungen ihrer Substanz und hier und da auch mit eintretenden Verfärbungen derselben (Taf. XI Fig. 1, 3, 6, 7), ferner das Zerreissen und die knotigen Anschwellungen der Plasmastränge (Taf. XI. Fig. 9, 10). Bei den Nitellen auch die auffallende Ansammlung von strömenden Protoplasmamassen an dem Orte der Beleuchtung u. a. m.

Viele dieser Veränderungen fallen zweifellos mit allgemeinen äusseren Todeserscheinungen des Protoplasma zusammen und treten in ähnlicher Weise auch bei anderen Todesursachen, so beim Tode durch Wärme oder durch Electricität auf. Es lassen sich unter diesen die specifisch chemischen Wirkungen des Lichtes kaum, oder nur schwer gesondert unterscheiden.

Unter den hierher gehörigen Phänomenen, die im Protoplasma beobachtet werden können, muss ich hier jedoch noch kurz die Lichtstarre des Protoplasma erwähnen, oder die vorübergehende Sistirung seiner Bewegung, wenn die Insolation kurz vor Eintritt des Lichttodes unterbrochen wird.

Sie kann bei allen Arten der Bewegung, die man im Protoplasma unterscheiden wollte, beobachtet werden, so z. B. bei der Körnchenbewegung in den Wandströmen zwischen den Spirogyrabändern, ferner an den Protoplasmaströmen in den Zellen der Filamenthaare der Tradescantien und bei der Circulation der Nitellen.

Unterbricht man die Insolation rechtzeitig in dem Augenblicke, wenn die Bewegung eben aufhört, so kann man sie in vielen Fällen in ganz normaler Weise früher oder später zurückkehren sehen.

Ich bemerke nur noch, dass das Stadium der Lichtstarre in den Zellen der Filamenthaare von Tradescantia virginica und auch bei geeignet gewählten — d. h. kurzen — Nitella-Zellen schon eintreten kann, lange bevor die Farbe dieser Zellen vollständig zerstört ist.

Verfolgt man aber die Bewegungserscheinungen im Protoplasma und das Aufhören derselben bei der intensiven Beleuchtung in

meinen Versuchen aufmerksam, und namentlich genau in dem Stadium vor Beginn der Lichtstarre, so ist es leicht, sich zu überzeugen, dass das Licht an dem Orte, wo es im Protoplasma wirkt, geradezu ein Hinderniss für die Bewegung schafft, eine Thatsache, die ja leicht verständlich wird durch die allmälige Veränderung, welche das Protoplasma, wie ich eben nachwies, im Lichte in seiner Substanz erfährt.

Sobald die Lichtwirkung längere Zeit angedauert hat, sieht man daher z B. bei Nitellen die Bewegung an der belichteten Stelle verlangsamt werden. Es entstehen dann hin und wieder, wie ich bereits S. 334 beschrieben habe, in Folge der localen Insolation — namentlich leicht bei längeren Schläuchen, die irgendwo in der Mitte insolirt werden — weil der Strom die belichtete Stelle nicht mehr passiren kann, in einem Schlauche zwei gesonderte Strombahnen, die, jede für sich, vor der belichteten Stelle umkehrend, zu einem geschlossenen Kreise wird. Vorher schon sieht man das strömende Protoplasma sich in grösseren, oft streifigen Massen nach und nach in Folge der Verlangsamung der Bewegung an der belichteten Stelle ansammeln.

Auf diese grössere Unwegsamkeit des Protoplasma, die unter dem Einflusse höherer Lichtintensitäten an den belichteten Stellen erzeugt wird, sind, wie ich meine, in einfacher Weise die Bewegungserscheinungen im Inneren der Zellen bei wechselnden Beleuchtungsintensitäten zurückzuführen.

Wenn das Protoplasma, wie oft beobachtet, sich an beleuchteten Stellen ansammelt, so liegt der Grund nicht, wie wohl missverständlich behauptet wurde, darin, dass das Protoplasma gleichsam vom Lichte angezogen wird, sondern darin, dass bei gewissen Intensitäten die Bewegung an der beleuchteten Stelle verlangsamt ist. Ebenso aber erklärt sich gerade auch das entgegengesetzte Verhalten, die Ansammlung des Protaplasma an beschatteten Stellen, durch die eingetretene Unwegsamkeit der belichteten, die das Protoplasma in andere Bahnen zwingt. Die Anordnung der beweglichen Massen in der Zelle zeigt nur den relativen Beweglichkeitszustand im Protoplasma an den verschiedenen, heller und dunkler beleuchteten, Stellen an entsprechend den durch das Licht beeinflussten Oxydationen seiner Substanz.

5. Die Membran der Zelle im intensiven Licht.

Die Zellwand der insolirten Zellen zeigt nach der Insolation keine bedeutend auffallenden Veränderungen ihrer Eigenschaften. Hin und wieder habe ich an zarteren Spirogyren geringe Quellungserscheinungen wahrgenommen, die aber nicht immer zur Anschauung kommen.

Dagegen muss ich hier noch eine auffallende Erscheinung erwähnen, die regelmässig beobachtet werden kann und die auf plötzliche Spannungsänderungen hindeutet, die höchstwahrscheinlich unter der Einwirkung des Lichtes in den Zellwandschichten eintreten.

Werden zartere Species von Spirogyren, z. B. Formen der Spirogyra Weberi oder Mesocarpus-Arten belichtet, so lösen sich, wenn die Insolation bis zum Tode der Zelle fortgeführt ist, die insolirten Zellen meist sogleich aus dem Verbande der übrigen Zellen des Fadens.

Der vorher gerade Faden knickt zuerst, wie es die Fig. 10, 11 Taf. XV. zeigen, an einer oder mehreren Zellengrenzen im Belichtungskreise ein und später trennen sich die einzelnen Zellen mehr oder weniger völlig von einander.

Bei den Formen der Spirogyra Weberi schlagen sich alsdann die bekannten Falten der Querwände, in Folge der aufgehobenen Widerstände, nach aussen.

Die früher erwähnten Veränderungen im Turgor der belichteten Zellen und ihre etwaigen Verkürzungen scheinen mir nicht im Zusammenhange mit dieser Aufhebung des Zellverbandes zu stehen. Abgesehen davon, dass ich bei wiederholten sorgsamen Bestimmungen keine messbaren Verkürzungen an den belichteten Zellen nachzuweisen vermochte — selbstverständlich keine Verlängerungen — wäre es an sich kaum vorauszusetzen, dass die blosse Veränderung im Längendurchmesser der belichteten Zellen ihre Loslösung aus dem Verbande im Faden bewirken sollte.

Dagegen glaube ich in manchen Fällen mit dem Einknicken zugleich eine Drehung des Fadens im Lichte beobachtet zu haben. Es wäre daher möglich, dass entstehende Ungleichheiten in der Spannung der Cuticular- und der inneren Membran-Schichten der be-

lichteten Zellen ihre Drehung und in Folge davon ihr Losreissen bewirken könnten.

Es ist aber auch nicht ausgeschlossen, dass chemische Veränderungen der Membran an den Zellengrenzen mitwirken könnten. Eingehender habe ich den Vorgang bisher noch nicht weiter verfolgt.

IV. Die Athmung der grünen Gewebe im Licht und die Function des Chlorophyllfarbstoffes.

Die bisher mitgetheilten Untersuchungen über Lichtwirkung heben nach meiner Ansicht den bestimmenden Einfluss hervor, den die Grösse der Sauerstoff-Aufnahme auf die Assimilation der Chlorophyllkörper gewinnen muss, und hieraus folgt dann unmittelbar schon der physiologische Werth der grünen Farbe für die assimilirenden Organe, selbst wenn man jede Annahme einer directen Beziehung des Farbstoffes zur Kohlensäure-Zersetzung fallen lässt.

Die massgebende Grundlage der Vorstellung, von welcher ich hierbei ausgehe, bildet für mich die unzweifelhafte Thatsache, dass die leuchtenden Strahlen eine nachweisbare Wirkung auf das scheinbar farblose Protoplasma der Zelle, namentlich auf die Grundsubstanz der Chlorophyllkörper und auf gewisse Einschlüsse derselben ausüben. Ferner die Thatsache, dass diese Wirkung vom Sauerstoff abhängig ist.

Die Zerstörung der Zelle im intensiven Lichte bei Gegenwart von Sauerstoff, ihre relative Immunität bei Ausschluss desselben lassen nur die Auffassung zu, dass die schädlichen Wirkungen des Lichtes in der gesteigerten Verbrennung oder Oxydation der zum Leben nöthigen Zellenbestandtheile bestehen.

Es kann hierbei zunächst unentschieden bleiben, ob nur die Affinität derjenigen Inhaltskörper der Zelle zum Sauerstoff gesteigert wird, die auch bei der Athmung im Finstern den Sauerstoff aufnehmen, oder ob im Licht auch solche Bestandtheile verbrennen, die unter den gewöhnlichen Verhältnissen, die im Finstern obwalten, nicht oxydirt werden. Jedenfalls ist es gewiss, dass die Athmungs-

grösse der grünen Zellen, d. h. die Grösse ihrer Sauerstoff-Aufnahme, mit zunehmender Lichtintensität wächst und bei hoher Intensität sogar bis zur Zerstörung der Zelle gesteigert werden kann. Ebenso ist es gewiss, dass die Lichtwirkung den Inhalt direct trifft und nicht etwa durch die grüne Farbe vermittelt wird.

Dies Letztere bedarf noch einer kurzen Erörterung.

Der Grad der Empfindlichkeit der Gewebe verschiedener Pflanzen gegen Licht zeigt nämlich bedeutende Unterschiede, die meist leicht auf die anatomische Beschaffenheit des Inhaltes und auf die Dimensionen der belichteten Zellen zurückgeführt werden können. Am bemerkenswerthesten in dieser Beziehung ist nun der grosse Unterschied in der Lichtempfindlichkeit grüner und nicht grüner Gewebe. Die ersteren sind, wie es scheint, durchweg empfindlicher gegen Licht, nicht bloss als farblose, sondern auch als andersfarbige, nicht grüne Gewebe.

So ist es, um nur einige Beispiele zu nennen, schwerer, Lichtstarre und Lichttod in den blauen und farblosen Zellen der Filamenthaare der Tradescantien, oder in den Schläuchen, Sporangien und Oogonien von Saprolegnien zu erzeugen, als in den grösseren Zellen der Spirogyren und Nitellen, oder als in den Blattzellen von Mnium und Vallisneria.

Frägt man nun nach der Ursache dieser Erscheinung, so läge es nahe, sie in der grünen Farbe des Zellinhaltes zu suchen, die ja schon das äussere Kennzeichen dieser empfindlicheren Gewebe bildet. Diese Auffassung würde auch gut übereinstimmen mit den gegenwärtigen Vorstellungen über die Beziehungen der Farbe zur Lichtwirkung bei der Assimilation.

Wie man bei der Assimilation den Sitz der Lichtwirkung in den Chlorophyllfarbstoff verlegt, so könnte man geneigt sein, anzunehmen, dass die Zerstörung des Inhaltes der grünen Zelle im intensiven Lichte gleichfalls vom Farbstoff ausgehe, und durch dessen Lichtabsorptionen vermittelt werde.

Es wäre ja denkbar, dass der übrige Zellinhalt gar nicht lichtempfindlich ist, sondern nur secundär in die Zerstörung des Farbstoffes hineingezogen wird. Es ist daher wichtig, dies zu entscheiden.

Nun finden sich zwar schon in den mitgetheilten Versuchen Thatsachen genug, welche eine solche Annahme unwahrscheinlich

machen und widerlegen müssen. So die Unwirksamkeit des rothen Sonnenbildes trotz der starken Absorptionen seiner Farbe im Chlorophyll, ferner die directen Wirkungen auf das scheinbar farblose Protoplasma der Zelle, dessen Veränderungen in der Lichtstarre, ebenso wie seine Zerstörungen im wandständigen Protoplasma, schon als unmittelbare Lichteffecte zur Erscheinung kommen, und endlich die unleugbar vorhandenen Lichtwirkungen auf nicht grüne Gewebe.

Ich will aber doch hier noch besonders hervorheben, dass es durch geeignete Versuche an grünen Zellen gelingt, sich noch direct davon zu überzeugen, dass der Chlorophyllfarbstoff bei der Zerstörung im Lichte gar nicht nothwendig mitwirken muss. Man kann nämlich grüne Zellen ebenso leicht im Lichte zerstören, wenn man bei ihrer Insolation das Sonnenbild auf eine Stelle an ihnen richtet, die von Chlorophyllkörpern ganz entblösst ist.

Solche Versuche können natürlich nur an solchen Zellen angestellt werden, deren Wandungen nicht durchweg mit Chlorophyllkörpern bedeckt sind, und hierzu eignen sich z B. Vorkeime und Zweigvorkeime von Charen.[1]) Man kann sich aber zu diesen Versuchen brauchbare grüne Zellen mit einer nackten, von Chlorophyllkörpern entblössten Stelle, jeder Zeit künstlich, in der Seite 333 beschriebenen Weise, durch Insolation herstellen, wenn man längere grüne Zellen — z. B. Nitella-Zellen — an einer beschränkten Stelle insolirt, und die Insolation unterbricht, bevor noch die Beweglichkeit der Chlorophyllkörper geschwunden ist.

Wie bereits an einer früheren Stelle mitgetheilt wurde, bleiben die Zellen in diesem veränderten Zustande (Fig. 4a, 5, Taf. XII.) völlig ungestört leben, ohne einen nachhaltigen Schaden in ihrer Vitalität erlitten zu haben. Werden sie dann später an der nackten Stelle insolirt, so sieht man in ihnen die bereits mehrfach beschriebenen Wirkungen und Zerstörungen des Lichtes ebenso gut

1) Es ist nicht schwer, sich diese Zweigvorkeime zu verschaffen, da sie, wie ich früher einmal gezeigt habe — Jahrbücher für wiss. Bot. Bd. III. p. 303 ff. — bei geeigneter Cultur leicht entstehen. Sie entstehen übrigens nicht bloss an eigentlichen Charen, sondern auch an Nitellen. Im vergangenen Frühjahre habe ich sie an Nitella capitata an abgeschnittenen Sprosstücken in grösserer Anzahl beobachtet.

und sogar verhältnissmässig rascher eintreten, als wenn die Insolation an einer vom Chlorophyll gedeckten Stelle gewirkt hätte.

Diese Versuche zeigen daher, dass die Zerstörungen durch Licht auch in der grünen Zelle von der Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes unabhängige Lichteffecte sind, die nicht durch die Absorptionen im Chlorophyllfarbstoff vermittelt werden. Sie kommen vielmehr augenscheinlich durch die Absorptionen derjenigen leuchtenden Strahlen zu Stande, welche im sogenannten farblosen Protoplasma erfolgen, die aber, weil sie gleichmässig das Spectrum betreffen, nicht eine bestimmte, deutlich unterscheidbare Farbe des Protoplasma hervorrufen, sondern nur die allgemeine Verdunkelung desselben bewirken, die am Protoplasma jeder Zelle beobachtet wird. Es sind dies, wie die Versuche mit den farbigen Sonnenbildern noch zeigen, Absorptionen aller leuchtenden Regionen des Spectrums mit alleiniger Ausnahme vielleicht des äussersten Roths bis nahe zur Wellenlänge 0,00061 mm.

Ferner lehren noch diese Versuche, ganz im Gegensatze zu der verbreiteten Auffassung, aber in voller Uebereinstimmung mit allen übrigen Erfahrungen im intensiven Licht, dass der Chlorophyllfarbstoff dort, wo er unmittelbar vorhanden ist, die Lichtwirkung auf die in seinem Schatten befindlichen Zellenbestandtheile nicht verstärkt, sondern vermindert.

Diese Wirkung des Farbstoffes ist an sich so selbstverständlich und nothwendig, dass sie gar keiner weiteren Auseinandersetzung und besonderen Hervorhebung bedürfte. Sie scheint aber doch nöthig, wenn man bedenkt, dass diese unzeifelhafte Function des Chlorophyllfarbstoffs, ausserdem noch die einzige, die er nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen nachweislich ausübt, bei der Beurtheilung der physiologischen Bedeutung der grünen Farbe im Respirationsvorgange der Gewächse bisher gar keine Berücksichtigung erfahren hat.

Unter den Spirogyren sind gerade diejenigen am empfindlichsten gegen Licht, deren Chlorophyllbänder schwach gefärbt und in weiten Windungen auseinandergezogen sind. Je enger die Windungen, je tiefer ihre Farbe, nicht desto kräftiger ist die Lichtwirkung auf die Zelle — wie dies doch wohl sein müsste, wenn der Chlorophyllfarbstoff die Wirkung auf den Zellinhalt übertrüge — sondern desto immuner zeigt sich die Zelle gegen das Licht. Die Unterschiede in

dieser Beziehung sind auch an den Formen ein und derselben Species bei den Spirogyren in hohem Grade auffallend.

Ebenso macht sich der Einfluss der Vertheilung und Ansammlung des Chlorophylls in allen grünen Zellen durch die bedeutende Verzögerung der Wirkung bei allen im Schatten von Chlorophyllmassen gelegenen Theilen geltend. In jeder grünen Zellen kommen im intensiven Licht, wo immer Chlorophyllmassen sich decken, so z. B. in den Zellen c d Fig. 2 Taf. XI., die Verspätungen der Wirkung im Schatten des Chlorophylls zur augenfälligen Beobachtung.

Bezeichnend für die Wirkungsweise des Chlorophyllfarbstoffes und für die Richtung, in welcher man seine Function in der Pflanze zu suchen hat, ist ferner der Umstand, dass derselbe gegen Lichtwirkung weniger empfindlich ist, als die anderen lichtempfindlichen Bestandtheile der Zelle. Und zwar scheint dies, wie die Versuche in den rothen Sonnenbildern zeigen, nicht blos in Bezug auf die Intensität des wirksamen Lichtes Geltung zu haben, sondern auch in Bezug auf die Breite des wirksamen Theiles im Spectrum.

Ich habe dies ausführlicher schon in dem Abschnitte über Lichtwirkung besprochen und wiederhole daher hier nur kurz, dass die Zerstörung des Protoplasma und sogar der Tod in den grünen Zellen früher erfolgt, als die Zerstörung des Farbstoffes beendet ist. Dies gilt auch für nicht grüne Zellenfarbstoffe.

Auch die blauen Zellen der Filamenthaare von Tradescantia virginica werden früher getödtet, als sie völlig entfärbt sind.

Bei den Spirogyren tritt Lichtstarre und Lichttod früher ein, als gänzliche Entfärbung der Bänder. Bei den Nitellen darf man die Länge der Zelle nicht ausser Acht lassen, da ja die Wirkung des Lichtes auf den vorüberströmenden Zellinhalt nur eine unterbrochene ist. Aber man wird auch hier bald finden, dass Schläuche, deren Länge den Durchmesser des Sonnenbildes um das Sechs- bis Zehnfache übertrifft, noch früher getödtet, als an der belichteten Stelle entfärbt werden.

Doch nicht in allen Fällen ist dies relative Verhältniss der Empfindlichkeit zwischen Farbstoff und Zellinhalt so leicht zu constatiren, wie bei Spirogyren, Tradescantien und Nitellen, denn die Todeserscheinungen sind nicht immer von so leicht auffallenden Veränderungen im Protoplasma begleitet, wie z. B. von Deplacirung

des Cytoblasten oder von auffallender Sistirung der Körnchenbewegung und Circulation, während die geringsten Veränderungen in der Farbe dem Beobachter sofort auffallen.

Am entschiedensten ist die Differenz der Empfindlichkeit ausgesprochen zwischen dem Chlorophyllfarbstoff und seinem Träger, der Grundsubstanz mit ihren Einschlüssen.

Es ist, wie ich bereits ausführlich dargelegt habe, leicht nachweisbar, dass das Hypochlorin unter dem Einflusse des intensiven Lichtes rascher und leichter zerstört wird, als der Chlorophyllfarbstoff und dass ebenso das Grundgerüste der Chlorophyllkörper, man kann fast sagen, nach momentaner Wirkung intensiven Lichtes bereits alle vitalen Eigenschaften einbüsst, während der Chlorophyllkörper sich in Farbe und Gestalt noch unverändert zeigt.

Wenn daher die grünen Gewebe sich gegen Lichtwirkung empfindlicher zeigen, als nicht grüne, so liegt die Ursache dieser Erscheinung keineswegs in der Farbe, sondern in dem Vorhandensein der leicht oxydirbaren Assimilationsproducte, die in den Chlorophyllkörpern der grünen Gewebe entstehen und sich von diesen aus auch im Protoplasma verbreiten.

Fassen wir das Gesagte kurz zusammen, so erscheint die Wirkung auf den Farbstoff als das nebensächliche Phänomen, das Wesentliche sind die bei weitem kräftigeren Zerstörungen, welche die Grundsubstanz der Chlorophyllkörper und ihre Einschlüsse erleiden.

Der Chlorophyllkörper stellt sich dann als eine mit grünem Schirm versehene äusserst lichtempfindliche Platte dar. Die in seinem Inneren vom Licht angeregten Processe sind aber nicht bloss Reductionen, sondern auch Oxydationen und gerade für die letzteren, für die Condensation und Uebertragung des Sauerstoffes sind die Chlorophyllkörper vermöge ihres schwammförmigen Baues und ihres Gehaltes an leicht verharzenden Substanzen, Oel und Hypochlorin, besonders günstig angepasst.

Dem grünen Farbstoff endlich fällt aber in den Oxydationsvorgängen des Inhaltes keine andere nachweisbare Function zu, als die durch seine Farbe physikalisch gebotene, wie sie in jedem Versuch und bei jeder Beobachtung zur Erscheinung gelangt. Sie besteht in der Verringerung der Lichtintensität und der dadurch hervorgerufenen Herabsetzung der Sauerstoffwirkung auf die Zelle.

Dieser Schutz gegen Verbrennung, den der Farbstoff der Zelle im Lichte gewährt, reicht allerdings bei meinen Versuchen im concentrirten Sonnenlicht nicht mehr aus, denn bei so hohen Intensitäten wird ja sogar der Farbstoff selbst völlig zerstört, allein auch hier wird derselbe noch an jeder sich kreuzenden Windung eines Spirogyrabandes bemerkbar und ebenso an jedem einzelnen Chlorophyllkorn, welches sich im Schatten eines anderen befindet. Abgesehen nun von der theoretisch minder wichtigen Frage, wie weit der Schutz der Farbe unter den natürlichen Verhältnissen, unter denen die Pflanzen existiren, bei der eigenen Gefährdung des Farbstoffes im Lichte noch ausreicht, ist es dagegen von entscheidender Bedeutung für die ganze Auffassung des Pflanzenlebens im Lichte, sich klar zu machen, worin dieser Schutz unter den normalen Bedingungen der Vegetation wesentlich besteht. Es handelt sich hier nicht um einen Schutz gegen eine imminente Lebensgefahr der Zelle, denn eine solche scheint bei den auf unserer Erde wirksamen Lichtintensitäten kaum irgendwo, oder doch nur ausnahmsweise einzutreten, sondern nur um einen Schutz für die im Chlorophyllkörper entstehenden Assimilationsproducte und um die Verhinderung ihrer zu raschen Verzehrung im Tageslichte.

Nothwendig muss nach den Ausführungen, die ich gegeben habe, die Athmungsgrösse der grünen Gewebe im Tageslichte mit steigender Helligkeit zunehmen, während die Beobachtungen offenbar darauf hinweisen, dass die Assimilation zwar im Lichte rasch ansteigt, aber schon bei mittleren Tageshelligkeiten nahezu ihr Maximum erreicht.

Unter der Voraussetzung, die wir hier einmal zulassen wollen, dass die grünen Gewebe ohne Chlorophyllfarbstoff functioniren würden, würde daher, wie es die Fig. 6 Taf. XXVI. schematisch zeigt, die Athmung bei allen Intensitäten des Tageslichtes und namentlich bei grösserer Tageshelligkeit die Assimilation bedeutend übertreffen. Es würde daher auch bei ununterbrochener Kohlensäure-Zersetzung doch eine Ansammlung von Kohlenstoff in der Pflanze ganz unmöglich sein. —

Das Auftreten des Farbstoffes ändert dies Verhältniss zu Gunsten der Kohlenstoff-Ansammlung.

Die Sauerstoff-Aufnahme wächst, wie ich gezeigt habe, im Spec-

trum in der brechbareren Hälfte desselben. Gerade dieser Theil wird aber vorzugsweise vom Chlorophyllfarbstoff verschluckt und zwar proportional der Intensität der Beleuchtung. Schon eine einfache Lage von Chlorophyllkörnern in der Zelle absorbirt im diffusen Tageslicht das ganze Blau bis zur Linie F je nach Tiefe ihrer Färbung mehr oder weniger stark (Spectrum β Taf. XXVI.). Im directen Sonnenlichte geht dagegen noch ein erheblicher Theil von diesem Blau hindurch. Dementsprechend muss die Athmungsgrösse der grünen Gewächse im Tageslichte in Folge ihrer Farbe und entsprechend der Tiefe derselben bedeutend abnehmen. Sie sinkt aber, und dies ist wohl zu beachten, nicht bloss durch die allgemeine Schwächung der Beleuchtung, welche das ganze Spectrum trifft, sondern namentlich durch die auswählenden Absorptionen der für die Athmung wirksamsten, brechbarsten Strahlen, die ja für den Chlorophyllfarbstoff vorzugsweise charakteristisch sind.

Die Athmungscurve der grünen Gewächse (cf. Fig. 6 Taf. XXVI.) sinkt hierdurch für alle höheren Lichtintensitäten unter die Assimilationscurve herab. Denn die Assimilation wird von der Schwächung der Lichtintensität durch den Farbstoff nur wenig beeinträchtigt. Deshalb nicht, weil sie schon bei mittleren Intensitäten des Tageslichtes nahezu ihr Maximum erreicht, mehr aber noch, weil die Wegnahme der blauen Strahlen durch den Farbstoff für die Kohlensäure-Zersetzung von geringerer Wirkung ist.

Im Gesammt-Effect des Tageslichtes bedeutet daher das Auftreten des Chlorophyllfarbstoffes schon durch die blosse Schwächung der Athmung das Ueberwiegen der Assimilation und die Ansammlung kohlenstoffhaltiger Körper in der Pflanze und hierin eben, in der Herabsetzung der gesteigerten Athmung grüner Gewebe im Lichte, liegt, wie ich meine, der Werth der grünen Farbe für die Gewächse.

Es kann kaum auffallen, dass in den bisherigen analytischen Versuchen über Athmung die Steigerung im Tageslichte nur wenig bemerkbar geworden ist, während sie doch bei meinen directen photochemischen Versuchen durch die Zerstörungen im Zellinhalte in so auffallender Weise zu Tage tritt. Es ist dies aus den verschiedenen Lichtintensitäten, die hier und dort wirksam sind und aus den Nebenumständen der Versuche leicht begreiflich.

In den grünen Organen wird bei den Intensitäten des Tageslichtes das Verhältniss durch die gleichzeitige Assimilation, die ja mit Ausnahme der allerniedrigsten Intensitäten immer überwiegt, nothwendig verdeckt. Trotz erhöhter Sauerstoff-Aufnahme kann daher nur eine Abgabe von Sauerstoff zur Beobachtung kommen. Man müsste die Assimilation unterdrücken oder, wie es eben in meinen Versuchen der Fall ist, Licht von höherer Intensität, als directes Sonnenlicht anwenden, wenn die Steigerung der Athmung durch Kohlensäure-Ansammlung im Versuchsraume zu Tage treten sollte.

Trotzdem giebt sich dieselbe in den Versuchen im directen Sonnenlicht schon in einigen Fällen deutlich zu erkennen. Nicht durch Kohlensäure-Ansammlung, aber durch Verminderung der Sauerstoff-Abgabe. Man hat dieselbe bereits mehrfach beobachtet, aber meiner Ansicht nach missverständlich erklärt. So hat neuerdings Famintzin[1]) geglaubt, darin den Beweis zu finden, dass die Kohlensäure-Zersetzung im Sonnenlicht abnehme und kleiner werde, als im hellen diffusen Tageslichte. Allerdings muss man ohne Berücksichtigung meiner Vorstellung zu einem solchen Schlusse gelangen, allein offenbar erklärt sich die Erscheinung nach meiner Auffassung, wie ich glaube in natürlicher Weise, so, wie es etwa das Schema veranschaulicht, aus der Annäherung beider Curven für Assimilation und Athmung in Folge der vermehrten Bindung von Sauerstoff durch die Pflanze im directen Sonnenlicht

In den nicht grünen Organen fehlen wieder die Inhaltsbestandtheile in den Zellen, welche den Sauerstoff im Lichte am begierigsten absorbiren; nämlich die leicht oxydirbaren Assimilationsproducte der Chlorophyllkörper. Dies ist ja der Grund, warum grüne Gewebe gegen Licht empfindlicher sind, als nicht grüne.

Man wird deshalb bei Versuchen mit nicht grünen Organen schon von vornherein eine bedeutende Vermehrung der Kohlensäure-Ansammlung nicht erwarten dürfen, zumal wenn es sich um Versuche im diffusen Tageslichte von nicht hoher Intensität handelt.

Dies gilt natürlich auch von phanerogamischen Schmarotzern, sofern sie chlorophyllfrei sind und ebenso von Pilzen.

Unter den wenigen Versuchen, die diese Frage direct berühren,

1) Melanges biologiques. Bulletin de l'Acad. impér. de St. Pétersbourg. Tom X. 1880.

sind nichtsdestoweniger schon einige, welche deutlich eine Vermehrung der Athmung im Lichte nachweisen. So z. B. die Versuche von Drude[1]) an Monotropa und die von Wolkoff und Mayer[2]) an keimenden Pflanzen.

Diese Letzteren wollen allerdings aus ihren Resultaten keine entscheidenden Schlüsse ziehen, da ihnen die gefundenen Differenzen zu klein erscheinen und sprechen sich schliesslich dahin aus, dass das Licht keinen erheblichen Einfluss auf die Athmung besitzen könne. Allein ich lege auf die von denselben gewonnenen Resultate in meinem Sinne deshalb einen grösseren Werth, weil sie an den ungünstigsten Objecten gewonnen worden sind, die meiner Ansicht nach zum Nachweis des Verhältnisses, welches hier in Frage kommt, gewählt werden können.

Keimende Samen und grüne Organe erwachsener Pflanzen können keineswegs bei Versuchen über den Vorgang der Athmung in Bezug auf die bei der Athmung verbrauchten Stoffe einfach gleichgesetzt werden.

Bei der Athmung der ersteren gelangen Reservestoffe, wie Stärke, Fett u. s. w., wenn auch nach vorheriger Umwandlung durch den Stoffwechsel, also immer Umwandlungsproducte der Reservestoffe, zur Verbrennung, während diese Stoffe, wie es meine Versuche direct nachweisen, in der functionirenden grünen Zelle gar keinen Antheil an der Athmung nehmen, vielmehr hier, mindestens in überwiegendem Grade, die primären Assimilationsproducte selbst, oder deren unmittelbare Derivate zur Verathmung kommen Es ist daher um so entscheidender für den Einfluss des Lichtes auf die Athmung, wenn auch unter diesen ungünstigeren Verhältnissen eine Vermehrung der Kohlensäure-Entwickelung wahrnehmbar wird.

V. Assimilation und Farbe.

Die Erfahrungen über Assimilation der Gewächse stehen mit der hier entwickelten Ansicht, wonach der Farbe nur ein indirecter,

1) Biologie der Monotropa Hipopitys, Göttingen 1873.
2) Landwirthschaftliche Jahrbücher 1874.

durch die Athmung vermittelter, Antheil an der Assimilation zukommt, nicht im Widerspruche, und lassen sich ohne Schwierigkeit mit den directen photochemischen Versuchen in Uebereinstimmung bringen, welche die Nichtbetheiligung des Farbstoffes an der Kohlensäure-Zerlegung darthuen.

Dies sollen nun die folgenden Erörterungen noch etwas näher auszuführen versuchen.

A. Die chemische Hypothese der Chlorophyllfunction.

Aus der allgemeinen Anschauung, dass der Chlorophyllfarbstoff im Assimilationsvorgange eine directe Rolle spielt, hat sich in neuerer Zeit die objective Vorstellung herausgebildet, dass derselbe mit seiner Substanz in den Process der Kohlensäure-Zersetzung hineingezogen, im physiologischen Vorgange der Assimilation fortwährend zersetzt und dann wieder neu gebildet wird.

In der That muss auch diese Vorstellung die nothwendige Grundlage jeder chemischen Hypothese über die Function des Farbstoffes bei der Assimilation bilden.

Sie setzt nicht nur voraus, dass der Farbstoff im Lichte und zwar im gewöhnlichen Tageslichte mittlerer Helligkeit zersetzt wird, sondern auch, dass diese Zersetzung unter Aneignung des von der zersetzten Kohlensäure herrührenden Kohlenstoffes erfolgt.

Die kohlenstoffreichen Bildungsproducte des Pflanzenkörpers sollen auf diesem Wege im Assimilationsvorgange aus dem Chlorophyllfarbstoff, als ihrer Muttersubstanz, hervorgehen.

Allein diese Vorstellung, so ansprechend sie auf den ersten Blick erscheinen mag, bewegt sich doch auf rein hypothetischem Boden, und steht mit den Resultaten meiner directen Versuche keineswegs in Uebereinstimmung.

Von Seiten der organischen Chemie, welche hier eingreifen müsste, ist der physiologischen Forschung noch keine massgebende Unterstützung geworden.

Genetisch sind die verausgesetzten Beziehungen der kohlenstoffreichen Gruppen, die den Pflanzenkörper aufbauen, zum Chlorophyllfarbstoff nicht aufgeklärt, und selbst die Constitution des Farbstoffes ist trotz der neueren Arbeiten über die sogenannten Chlorophyll-

krystalle noch so gut wie unbekannt. Denn die rothen und grünen Krystalle, die man unter Umständen aus künstlichen Chlorophyll-lösungen gewinnen kann, sind, wie jede eingehendere Beobachtung und wie der Vergleich ihrer Spectra zeigt, keineswegs identisch mit jenen tief gesättigten grünen Tropfen, die ohne Lösungsmittel aus jedem Chlorophyllkorn hervortreten (man vergl. Seite 292) und die ganz in derselben Weise aus jeder künstlichen Chlorophylllösung nach Entfernung des Lösungsmittels wieder herausfallen.

In dieser Tropfenform findet sich jedesmal der normale Farbstoff bei seiner Gewinnung aus den Geweben wieder. Er erscheint hier noch gebunden an seinen natürlichen Träger in der Pflanze, mit welchem er nach seiner Abscheidung aus den Geweben an der Luft leicht verharzt und sich verändert. Im unveränderten Zustande ist er von diesem noch nicht getrennt worden.

An dieser Klippe scheitert zunächst jede chemische Betrachtung über eine mögliche genetische Beziehung zwischen dem Farbstoff und anderen Bestandtheilen des Zelleninhaltes und die Bildung von Kohlenhydraten aus dem Chlorophyll, die vorzugsweise und wiederholt zur Stütze der chemischen Hypothese herangezogen wurde, ist bekanntlich bisher nur an seiner hypothetischen Formel gelungen.

Von dem Standpunkte meiner rein physikalischen Theorie der Chlorophyllfunction erhält übrigens die Entstehungsweise des Chlorophyllfarbstoffes in der Pflanze und seine genetische Beziehung zu den allgemeinen näheren Bestandtheilen des Pflanzenkörpers nur eine mehr nebensächliche Bedeutung.

Ausführlichere Angaben über diese chemischen Hypothesen finden sich in den neueren Werken von Wiesner[1]) und Sachsse[2]).

Ich glaube hier den speziellen Nachweis der mangelhaften Begründung in den einzelnen diesbezüglichen Behauptungen übergehen zu dürfen, denn die Unhaltbarkeit der ganzen Vorstellung, wonach die Zerstörung des Chlorophylls im Lichte mit dem Processe der Kohlensäure-Zersetzung in der Pflanze zusammenhängen soll, folgt schon aus meinen Versuchen im intensiven Lichte.

Ganz abgesehen von der nirgends bewiesenen und an sich höchst

---

1) Die Entstehung des Chlorophylls, Wien 1877.
2) Die Chemie und Physiologie der Farbstoffe, Kohlenhydrate etc. Leipzig 1877.

unwahrscheinlichen und auch gegen jede Erfahrung streitenden Annahme, dass der Chlorophyllfarbstoff in der lebenden Zelle bei niedrigen mittleren Tageshelligkeiten zerstört wird, bei welchen doch die Assimilation eine mächtige ist, zeigen meine Versuche direct:

1. dass die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes auch in der lebenden Pflanzenzelle[1]) ein Oxydationsvorgang ist, der unabhängig von dem Vorhandensein der Kohlensäure und ihrer Spannung im Versuchsraume erfolgt (S. 340).
2. dass seine Zersetzung im Lichte nicht stattfindet in einem beliebig procentischen Gemenge von Kohlensäure und Wasserstoff, in welchem Assimilation und Zersetzung der Kohlensäure möglich ist (S. 347);
3. dass endlich die Zerstörung des Chlorophyllfarbstoffes in der lebenden Pflanze ein pathologischer Vorgang ist, und dass der einmal zerstörte Farbstoff nicht wieder regenerirt wird (S. 347).

Diese Thatsachen widerlegen, wie ich glaube, entschieden die Theorien der Chlorophyllfunction, die von einer Zersetzung des Farbstoffes im Reductionsprocesse ausgehen.

B. Ist die Farbe überhaupt eine nothwendige Bedingung für die Assimilation?

Wenn man nach dem soeben Mitgetheilten die Vorstellung aufgeben muss, dass der Chlorophyllfarbstoff in die Zersetzung der Kohlensäure chemisch hineingezogen wird, so ist es überhaupt schwer, sich eine Vorstellung von der Art zu machen, wie er den Process direct bewirken oder fördern soll. Auch ist niemals eine andere Vorstellung seiner directen Betheiligung ernstlich in Frage gekommen. Wenigstens hat Niemand versucht, sie in eine objectiv fassbare Form zu bringen.

Es bliebe nur noch übrig, wenn man den Farbstoff durchaus als eine nothwendige Bedingung für die Kohlensäure-Zersetzung ansehen will, anzunehmen, dass er die Lichtwirkung, die er empfängt, gleichsam als optischer Sensibilisator fortleitet, ohne selbst in den stofflichen Vorgang hineingezogen zu werden, den das Licht in der Zelle hervorruft; oder mit anderen Worten, dass die in seinen Absorptionen verschwindende Aetherbewegung nicht auf seine eigene Sub-

1) Dass künstliche Chlorophylllösungen sich unter Sauerstoff-Aufnahme am Lichte verfärben, war, wie man weiss, längst bekannt.

stanz, sondern auf die Substanz der Körper, die er bekleidet, übertragen wird.

Allein, man darf wohl fragen, ist eine solche Annahme auch erlaubt und nöthig? und worin wäre sie begründet?

In den Erfahrungen über Assimilation der Gewächse findet sie keine sachliche Stütze. Gerade jene stärksten Lichtabsorptionen, die in den Absorptionsbändern des Farbstoffes sich ausdrücken, sind bekanntlich bei der Assimilation unwirksam und dies spricht doch gewiss nicht für die Wirkung des im Farbstoff verschwundenen Lichtes auf den Vorgang.

Eine solche Hilfshypothese wäre nur erlaubt, wenn die Betheiligung des Farbstoffes an der Zersetzung der Kohlensäure anderweitig schon mit Sicherheit erwiesen wäre. Die Voraussetzung, dass eine solche Betheiligung besteht, folgt aber keineswegs schon mit Nothwendigkeit aus den bisherigen Erfahrungen über den Gaswechsel der Pflanzen.

Gehen wir auf ihre Grundlagen zurück, so ist offenbar die unbestrittene Thatsache, dass nur grüne Theile der Gewächse im Lichte Sauerstoff abgeben, der wichtigste und eigentlich einzige Ausgangspunkt der gegenwärtigen Vorstellung von der Wirkung der Farbe. Hieraus hat man den Schluss gezogen, dass es der Chlorophyllfarbstoff ist, der die Kohlensäure zersetzt, und dieser Schluss schien auch physikalisch berechtigt durch die naheliegende Annahme, dass das im Farbstoff verschwundene Licht zur Kraftquelle für den Reductionsprocess der Vegetation wird.

Allein dieser Schluss ist nicht mehr geboten, wenn man, wie ich hier zu entwickeln versuche, die Aenderung der Athmungsgrösse im Lichte, die man bisher ganz ausser Acht liess, in die Betrachtung hineinzieht und nicht vergisst, dass der Gaswechsel grüner Organe immer nur die Differenz zwischen Assimilation und Athmung ausdrücken kann.

Die Thatsache, dass nur grüne Theile Sauerstoff abgeben, verlangt dann durchaus nicht mehr den Schluss, dass die grüne Farbe der Träger der Assimilation ist, sondern nur den, dass in den grünen Theilen die Athmung kleiner wird, als die Assimilation.

Man darf eben nicht ohne Weiteres bei Beurtheilung der Vorgänge im Gaswechsel Sauerstoff-Abgabe und Assimilation einfach als gleichbedeutend setzen, denn Assimilation kann offenbar ohne

Sauerstoff-Abgabe bestehen. Dies geht schon aus dem Verhalten grüner Gewebe bei niedrigen Lichtintensitäten hervor.

Man hat allerdings aus dem Umstande, dass sie unter solchen Bedingungen keinen Sauerstoff abgeben, den Schluss gezogen, dass die Assimilation erst bei einer bestimmten grösseren Helligkeit beginnt. Allein hier liegt es doch wohl auf der Hand, dass dieser Schluss unberechtigt ist und dass es naturgemässer ist, anzunehmen, dass die Assimilation bei allen, auch den niedrigsten Helligkeiten stattfindet, aber bei den niedrigen noch durch die Athmung verdeckt wird.

Die Betrachtung, dass Sauerstoff-Abgabe überhaupt nur wahrgenommen werden kann, wo die Athmung kleiner wird als die Assimilation, muss aber consequenter Weise auf alle Verhältnisse athmender Gewebe übertragen werden.

So hat man ferner für die Wirkung des Farbstoffes bei der Assimilation noch angeführt, dass die Pflanzen erst zu assimiliren beginnen, wenn sie grün geworden sind, oder wie man es gewöhnlich ausdrückt, dass die Pflanzen früher ergrünen, als sie assimiliren. Aber auch hier ist wiederum Assimilation und Sauerstoff-Abgabe gleich gesetzt. Die Thatsachen sagen auch hier nichts weiter aus, als dass die Sauerstoff-Abgabe erst beginnt, nachdem die Theile grün geworden sind, und die Erscheinung erklärt sich daher auch hier aus dem Umstande, dass die Athmung erst dann kleiner wird als die Assimilation, wenn die Gewebe grün werden.

Dass dies schon in einem sehr frühen Stadium des Ergrünens der Fall ist, folgt aus den Versuchen von Boussingault[1]).

Fragt man weiter nach der Kraftquelle für die Zerlegung der Kohlensäure in den Pflanzen, so sprechen die Beobachtungen durchaus nicht dafür, dass dieselbe, wie man nach der bloss äusseren Erscheinung geurtheilt hat, in den Absorptionen des Chlorophyllfarbstoffes zu suchen ist. Man hat sich zwar viele Mühe gegeben, hier die Thatsachen mit der Vorstellung in Einklang zu bringen; allein sie wollten sich nicht fügen.

Es ist bekannt, dass die versuchten Nachweise für die Wirkung des im Farbstoff absorbirten Lichtes auf die Kohlensäure-Zersetzung bisher völlig misslungen sind.

---

1) Comptes rendus, Bd. 68, S. 410.

Ich erinnere nur daran, dass die Maxima der Kohlensäure-Zersetzung im Spectrum nicht zusammenfallen mit den Maximis der Absorption im Chlorophyllspectrum; dass künstliche Chlorophylllösungen keine Kohlensäure zersetzen, und dass die nicht functionirenden Blätter dasselbe Chlorophyllspectrum zeigen, wie functionirende.

Wenn hierin bei der Schwierigkeit genauer photometrischer Bestimmungen der Absorptionsspectra auch noch keine absoluten Gegenbeweise gegen die vorausgesetzte Function des Farbstoffes im Reductionsprocesse zu liegen scheinen, so doch gewiss schon hohe Wahrscheinlichkeitsgründe dagegen. Und jedenfalls ist es unzweifelhaft, dass die Absorptionen in den Absorptionsbändern, die hier in erster Linie in Frage kommen müssen, weil sie die Farbe, von der man als Ursache ausgeht, bestimmen, bei der Lichtwirkung in der Pflanze keine vorwiegende Rolle spielen.

Es kann sich daher bei der Aufsuchung der Kraftquelle für die Vegetation nur um die nach ihrer Farbe schwer definirbaren Verschiedenheiten handeln, die in der Lichtabsorption zwischen einem functionirenden und einem nicht functionirenden grünen Gewebe bestehen.[1])

Diese liegen aber nicht im Chlorophyllspectrum, sondern in den unzweifelhaften Lichtabsorptionen im Zellinhalte, deren Existenz und deren Wirkungen auf den Zellinhalt in meinen Versuchen im intensiven Lichte durch die Zerstörungen nachgewiesen werden, die sie hervorrufen.

Von welcher Seite man daher auch die Frage betrachten will, sofern man nur die Steigerung der Athmung im Lichte zugiebt, dann erscheint die Hypothese einer Betheiligung des Farbstoffes an der Kohlensäure-Zersetzung nicht mehr geboten, denn die Thatsachen, welche sie zu fordern schienen, finden auch durch die Theorie der Chlorophyllfunction, die ich hier vertrete, schon ihre ausreichende und befriedigende Erklärung.

Zur Geschichte des Gegenstandes darf ich endlich nicht unerwähnt lassen, dass der Antheil des Farbstoffes an der Assimilation schon

1) Dass eine solche Verschiedenheit besteht, hat N. J. C. Müller auch experimentell nachgewiesen. Müller, Bot. Untersuchungen, Heidelberg, Bd. I., und Handbuch der allgemeinen Botanik, 1880, Bd. I. S. 511.

mehrfach bezweifelt worden ist. Allerdings haben diese Zweifel sich bisher keine Anerkennung zu verschaffen vermocht. Sie waren jedoch theils nicht richtig begründet, theils unvollständig.

Am bemerkenswerthesten in dieser Richtung ist die Ansicht, dass das Chlorophyll nicht die Assimilation bewirkt, sondern dass es in der Assimilation entsteht. Schon Meyen[1]) erwähnt diese Ansicht und scheint sie getheilt zu haben. Ausführlicher ist sie von Mulder[2]) erörtert. Er gelangt gleichfalls zu dem Schlusse, „dass die „grünen Blätter Sauerstoff geben, nicht, weil sie grün sind, sondern, „indem sie grün werden."

Es ist aber schon wiederholt, namentlich Mulder gegenüber, dargelegt worden[3]), dass diese Ansicht unrichtig ist. Meyen geht nicht weiter auf ihre Begründung ein, und die Thatsachen, durch welche sie Mulder zu stützen suchte, sind längst als Irrthümer erkannt worden. Die vermeintliche Umwandlung der Stärkeeinschlüsse der Chlorophyllkörper in Wachs, wobei nach Mulder der Sauerstoff frei werden soll, den die grünen Gewebe entwickeln, findet bei der Entstehung der Chlorophyllkörper nicht statt. Ebenso widerspricht seine Behauptung den erwiesenen Vorgängen beim Ergrünen der Gewächse, denn bei der Bildung von Chlorophyll in den Pflanzen wird Sauerstoff nicht frei, sondern verbraucht. Immerhin ist diese Ansicht sehr bemerkenswerth, schon als ein Versuch, die grüne Farbe der Gewächse nicht als eine bedingende Ursache der Kohlensäure-Zersetzung aufzufassen, sondern sie in einen anderen Causal-Zusammenhang mit der Assimilation zu bringen.

Auch in neuerer Zeit sind Zweifel an der Bedeutung des Farbstoffes für die Assimilation wieder aufgetaucht. Sie entstanden immer, sobald man auf Schwierigkeiten in der Deutung der Thatsachen stiess.

Als ihr Vertreter ist besonders auch Gerland[4]) zu nennen, der in der Controverse über die relative Energie der Farben in der Assi-

1) Pflanzenphysiologie, Bd. II., S. 162.

2) Allgemeine physiologische Chemie, übersetzt von Kolbe, Braunschweig 1841, S. 273.

3) Mohl, Vermischte Schriften S. 360. — Sachs, Experimentalphysiologie, S. 320. — De Bary, Bot. Zeit. 1871, S. 612.

4) Ann. d. Phys. und Chemie von Poggendorf, Band 143 (1871).

milation schon in bestimmterer Weise darauf hinwies, dass die Uebereinstimmung der Absorptionsspectra der Blätter und der Chlorophyllösungen, und ebenso die Verfärbungen dieser Lösungen im Sauerstoff sich nicht gut mit der Annahme vereinigen lassen, wonach der Farbstoff bei der Assimilation betheiligt sei.

Diese und ähnliche Einwände habe ich gleichfalls schon oben unter den Gründen angeführt, welche die geltende Vorstellung von der Wirksamkeit des Farbstoffes wenigstens schon unwahrscheinlich machen. Man ging über sie hinweg, weil sie von ihrem rein negativen Standpunkte den Einfluss der Farbe auf die Assimilation nur läugneten, ohne doch die zwischen beiden unleugbar vorhandenen Beziehungen aufzuklären, die sich Jedem in den alltäglichsten Erfahrungen aufdrängen.

Diese Beziehungen sind aber, wie ich mich hier darzulegen bemüht habe, indirecter Natur. Sie liegen in der Herabsetzung der Athmungsgrösse durch den Farbstoff und so fördert dieser zwar nicht die Kohlensäure-Zersetzung, wohl aber, worauf es allein ankommt, die Ansammlung des Kohlenstoffes in der Pflanze.

C. Folgerungen, die sich aus der Theorie der Chlorophyllfunction für die Deutung der Assimilationsversuche ergeben.

Von dem so gewonnenen Standpunkte aus wird es offenbar auch nöthig, die Athmungsgrösse und die Function der Farbe in alle Betrachtungen einzuführen, welche an Untersuchungen über Assimilation der grünen Organe im Lichte anknüpfen.

Es ist dies bisher nicht einmal für die Athmung geschehen, obgleich man doch die Athmung der grünen Organe im Lichte nicht mehr geläugnet hat. Wenigstens finde ich nicht, dass irgend Jemand daran Anstoss nahm, dass die Grösse der Sauerstoff-Aufnahme bei der Beurtheilung der Versuchsresultate über Gaswechsel unberücksichtigt blieb.

Da aber die Oxydations- und Reductionsvorgänge in den grünen Geweben bei Aenderung der Intensität und Farbe der Beleuchtung nicht in gleichem Verhältnisse fallen und steigen, so müssen der Einfluss des Lichtes und die Wirkungen des Farbstoffes auf die Athmung bei allen Fragen, welche die Assimilation betreffen, besonders in Rechnung gezogen werden, und dies möge schliesslich für

einige Folgerungen, die man aus den Untersuchungen über Assimilation ziehen zu dürfen glaubte, hier noch kurz geschehen.

1. Das Optimum für Kohlensäure-Zersetzung im Lichte ist in neuerer Zeit in Frage gekommen. Es kann dasselbe aber nicht einfach durch die Grösse der Sauerstoff-Abgabe im Lichte festgestellt werden.

Diese giebt bei jeder Intensität nur die Differenz zwischen Sauerstoff-Aufnahme und Sauerstoff-Abgabe an. Beide Processe sind verschiedene Functionen von Farbe und Intensität. So lange sie im Versuche nicht getrennt sind, erlaubt die Bestimmung der Sauerstoff-Abgabe nur das approximative Verhältniss zwischen Athmung und Assimilation festzustellen. Man kann nur die Intensitäten bestimmen, bei welchen die eine, und bei welchen die andere die Oberhand gewinnt, aber nicht direct die Grösse des Anwachsens oder Sinkens der Kohlensäure-Zersetzung.

Die Grösse der Sauerstoff-Abgabe ist eben nicht, wofür man sie kurzweg ansah, ein einfaches Mass der Kohlensäure-Zersetzung. Es kann bei grösserer Helligkeit eine grössere Kohlensäure-Zersetzung stattfinden und im Versuche doch nur eine geringere Sauerstoff-Abgabe zum Vorschein kommen, sowie es z. B. die Annäherung der beiden Curven bei den höchsten Intensitäten des Tageslichtes in dem Schema Fig. 6 Taf. XXVI. andeuten soll. Hieraus erklären sich, wie ich annehme, die Fälle, in welchen die Gasabgabe im directen Sonnenlichte geringer, als im hellen diffusen Tageslichte gefunden wurde.

Auch wenn man die Frage anders als bisher auffassen und nicht den Gang der Kohlensäure-Zersetzung im Lichte, sondern nur den Gang des Kohlenstoff-Gewinnes für die Pflanze festsetzen wollte, so würde aus der Sauerstoff-Abgabe allein immer nur eine approximative Schätzung erlaubt sein, so lange das Verhältniss der Kohlensäure-Abgabe zur Sauerstoff-Aufnahme bei wechselnder Lichtintensität nicht bekannt ist.

Complicirt wird endlich das Verhältniss noch durch den ungleichen Gehalt der Pflanzen an Chlorophyll und durch dessen verschiedenartige Beeinflussung von Athmung und Assimilation. Es kann daher auch im Sinne der Kohlenstoffgewinnung überhaupt gar kein für die Pflanzen allgemein gültiges Lichtoptimum geben.

2. Die relative Energie der Farben im Reductionsprocesse kann ebenso wenig durch die blosse Bestimmung der Grösse der Gasabgabe in verschiedenen Farben festgestellt werden, weil die Absorptionen des Chlorophyllfarbstoffes im Sinne meiner Schirmtheorie des Chlorophylls das Resultat verdunkeln.

Alle genauen Untersuchungen von Daubeny[1]) und Draper[2]) an bis auf Sachs[3]) und Pfeffer[4]) haben übereinstimmend gezeigt, dass die grösste Energie in der Sauerstoff-Exhalation der grünen Gewebe, den Strahlen mittlerer Brechung im Spectrum zukommt. Der Widerspruch gegen diese übereinstimmenden Angaben erfolgte, abgesehen von einigen geringeren Abweichungen über den Verlauf der Zersetzungscurve, wesentlich aus theoretischen Gründen. Man wollte die Thatsache nicht zugeben, weil sie mit der geltenden Vorstellung, die den Sitz der Lichtwirkung in den Farbstoff verlegte, nicht gut in Einklang zu bringen war.

Dieses Hinwegsetzen über die Erfahrung der Physiologen findet sich namentlich bei denen, die von rein physikalischen Vorstellungen aus an das Problem herangetreten sind. So schickt Lommel bei seiner Untersuchung den physikalischen Satz voraus, den gewiss Niemand beanstanden wird, dass die Lichtwirkung auch in der Pflanze abhängen müsse von dem Grade der Vollkommenheit der Absorption und von der durch ihre Wärmewirkung zu messenden lebendigen Kraft, oder mechanischen Intensität der absorbirten Strahlen. Allein hieraus schliesst er dann weiter, dass die Hauptwirkung in den Absorptionsstreifen des Chlorophyllfarbstoffes liegen müsse, und zwar in den Absorptionsstreifen im Roth, weil die blauen Absorptionen wegen ihrer geringen mechanischen Intensität nicht wirken könnten.

Da aber die Erfahrung mit dieser Folgerung durchaus nicht in Uebereinstimmung war, so war es doch wohl richtiger, sich zu fragen, ob denn der Sitz der Wirkung nicht ausserhalb des Farbstoffes zu suchen sei.

Diejenigen Physiologen, welche behaupteten, dass gelbe und

1) Philosphical Transactions 1836.
2) Ann. d. Chem. et Phys. 1844.
3) Bot. Zeit. 1864, No. 47.
4) Arb. d. bot. Instit. in Würzburg, Heft 1, 1871.

grüne Strahlen auf Kohlensäure-Zersetzung kräftiger wirken, als z. B. blaue und rothe, schlossen sich allerdings dem äusseren Eindrucke der Erscheinung in den Versuchen sachlich richtiger an, aber sie übersahen, dass dann die Aufgabe bestehen bleibt, die physiologische Function der so auffallenden Absorptionsstreifen des Farbstoffes für die Pflanze zu erklären.

Berücksichtigt man nun die Wirkung des Farbstoffes in meinem Sinne, so wird man zugeben müssen, dass die Versuche, wie sie angestellt wurden, gar keinen unfehlbaren Schluss auf die relative Wirksamkeit der Farben im Reductionsprocesse zulassen. Man musste natürlich grüne und gelbe Strahlen wirksamer finden, als blaue, weil die letzteren in viel höherem Grade vom Chlorophyllfarbstoff verschluckt nicht zur vollen Wirksamkeit gelangen konnten. Es ist gerade so, als wenn ein Photograph die Wirkung verschiedenfarbigen Lichtes in einem Apparate prüfen wollte, in welchem hinter der Linse ein grüner Glasschirm sich befände. Er würde gleichfalls finden, dass Silbersalze gegen blaues Licht unempfindlicher sind als gegen grünes und gelbes.

Trotz der Richtigkeit der Resultate in den Versuchen mit farbigem Lichte halte ich daher die Abhängigkeit der Kohlensäure-Zersetzung von der Wellenlänge noch für unbekannt. Die Frage kann vielleicht kaum anders, als bei Anwendung von sehr intensivem Lichte entschieden werden.

Doch möchte ich hier nicht missverstanden sein. Für die existirende grüne Pflanze, wie sie einmal beschaffen ist, für jedes Chlorophyllkorn mit dem grünen Schirm, den es hat, gilt allerdings auch nach meiner Ansicht der Satz, dass gelbes und grünes Licht sich wirksamer für Sauerstoffabgabe erweist, als blaues. Allein hieraus kann noch kein sicherer Schluss auf die Abhängigkeit der Assimilation von der Farbe gezogen werden. Diese könnte gleichwohl im blauen Lichte stärker sein; da die Versuche hierüber eben nichts Sicheres aussagen. Doch scheint es auch mir a priori wahrscheinlicher, dass die blauen Strahlen unwirksamer sind, denn die Bedeutung der Absorptionen im Chlorophyllfarbstoff für die Kohlenstoff-Ansammlung würde als eine noch günstigere Anpassung für die Pflanze erscheinen, wenn die Absorption der blauen Strahlen nur die Athmung schwächen, die Assimilation aber nicht beeinträchtigen würde.

Keinesfalls aber dürfen die anderen Consequenzen übersehen werden, die aus der Absorption der Strahlen im Chlorophyllfarbstoff folgen.

So kann auch das Maximum der Wirkung im Spectrum bei der Assimilation für alle Pflanzen und für alle Helligkeiten unmöglich an derselben Stelle liegen.

Es muss abhängig sein von der Tiefe der Färbung der Pflanze und von der Gesammt-Intensität der Bestrahlung im Versuche. Seine Lage muss sich daher mit beiden Bedingungen ändern und hieraus erklären sich ausreichend die abweichenden Resultate über den Verlauf der Assimilationscurve im Spectrum.

3. Die Constanz des Gasvolumens, in welchem grüne Organe im Licht unter Verwandlung der Kohlensäure in Sauerstoff vegetiren, ist, wie man weiss, die Grundlage einer beliebten Betrachtung gewesen, welche über die wahrscheinliche chemische Zusammensetzung der kohlenstoffhaltigen Substanz Auskunft geben sollte, die im Reductionsprocesse gebildet wird. Geht man hierbei von der Vorstellung aus, dass Kohlensäure und Wasser in der Pflanze unter Abgabe von Sauerstoff zur Bildung jener Substanz unmittelbar zusammentreten, so erlaubt dieselbe aus den Verhältnissen des Gaswechsels einen Rückschluss auf die Constitution dieses primären Assimilationsproductes der Gewächse zu ziehen.

Nun ist allerdings die gemachte Voraussetzung, dass dieses Product direct aus Kohlensäure und Wasser gebildet wird, keineswegs schon durch die Erfahrung nothwendig geboten. Aber diese Annahme hat doch bisher den einzigen leitenden Gesichtspunkt für die Theorie der Assimilation abgegeben und für eine andere Hypothese, z. B. für die Hereinziehung der stickstoffhaltigen Substanzen der Chlorophyllkörper in den Vorgang fehlt zur Zeit noch jede thatsächliche Handhabe; es wird daher wohl nicht überflüsig erscheinen, wenn ich hier unter Hinweis auf die Bildungsproducte der Chlorophyllkörper noch etwas eingehender untersuche, welche Schlussfolgerung sich in Wirklichkeit ergiebt, wenn man die Beschaffenheit jenes ersten Assimilationsproductes aus den Verhältnissen des Gaswechsel der grünen Gewebe im Lichte beurtheilen will.

Aus der ungefähren Uebereinstimmung der Volumina der aus- und eingeathmeten Luft zog man bisher den Schluss, dass der im Reductionsprocesse zurückgehaltene Kohlenstoff der Kohlensäure unter

Abgabe sämmtlichen Sauerstoffes derselben sich mit Wasser zu einem Kohlenhydrat verbinde, und dieser Schluss erhielt gewissermassen eine Unterstützung durch die anatomischen Erfahrungen über die Entstehung der Stärke in den Chlorophyllkörpern und durch die physiologischen Vorstellungen über die Bedeutung und Verbreitung der Glycose in den Pflanzen.

In der That hat sich, wie man wohl sagen darf, die gegenwärtige Hypothese, dass die Stärke, oder dass ein Zucker dieses primäre Bildungsproduct darstellen, gegenüber der älteren Liebig'schen Annahme, dass im Reductionsprocesse die organischen Säuren gebildet würden, wesentlich nur aus jener Betrachtung über den Gaswechsel mit Hülfe der bezeichneten anatomischen Thatsachen herausgebildet. Nun wäre aber, wie sich leicht zeigen lässt, jener Schluss aus der Constanz des Gasvolumens nur dann richtig, wenn die grünen Organe im Lichte nur assimiliren und nicht athmen würden.

Giebt man aber die Athmung im Lichte, wie man doch muss, zu, so wird das Verhältniss unbedingt ein anderes, weil ja gleichzeitig Sauerstoff aufgenommen wird.

Man kann nicht einwenden, dass die Berücksichtigung der Athmung unnöthig sei, weil der aufgenommene Sauerstoff wieder Kohlensäure bildet; denn die beiden Volumina, die hier in Frage kommen, decken sich nicht. Bei der Athmung grüner Organe im Lichte wird unzweifelhaft mehr Sauerstoff aufgenommen, als Kohlensäure gebildet.

Ich habe schon oben hervorgehoben, dass es unstatthaft ist, die Vorgänge bei der Keimung Stärke-haltiger Samen auf die Athmung der grünen Organe erwachsener Pflanzen ohne Weiteres zu übertragen, denn in diesen bildet die Stärke und ihre Umwandlungsproducte sicher nicht das Material für die Athmung. Bei der Keimung Oel-haltiger Samen tritt schon deutlich der Fall ein, dass mehr Sauerstoff aufgenommen wird, als Kohlensäure abgegeben. In den grünen Organen muss sich dies Verhältniss im Lichte, wie aus meinen Versuchen hervorgeht, beträchtlich steigern.

Die Athmung der grünen Organe im Lichte hat daher für sich allein betrachtet, nothwendig immer eine Verringerung des Gas-Volumens im Versuchsraume durch Bindung von Sauerstoff in der Pflanze zur Folge.

Wenn daher bei gleichzeitig assimilirenden und athmenden

Organen das Gasvolumen der umgebenden Luft gleichbleibt, so muss dies nothwendig zu dem Schlusse führen, dass im Reductionsvorgange direct eine Substanz gebildet wird, die ärmer an Sauerstoff ist, als die Kohlenhydrate und zwar um so viel ärmer, als der bei der Athmung gleichzeitig gebundene Sauerstoff beträgt. Dieser Schluss ist unvermeidlich, wenn man die kohlenstoffhaltige organische Substanz unmittelbar aus Kohlensäure und Wasser entstanden denkt.

Man könnte hieraus weiter folgern, dass die ungefähre Constanz des Gasvolumens, die ja nur unter gewissen Verhältnissen beobachtet wird, nur bei einer bestimmten Grösse der Athmung eintreten kann, nämlich dann, wenn das entstehende Reductionsproduct durch Sauerstoff-Aufnahme nahezu ganz in ein Kohlenhydrat übergeführt wird, welches alsdann als ein beständigeres, der weiteren Oxydation im Licht widerstehendes, kohlenstoffhaltiges Reservematerial im Chlorophyllkörper zurückbleibt.

Die Athmungsgrösse der grünen Gewebe würde hiernach nicht allein, wie dies ja nothwendig ist, das beobachtete Verhältniss im Gaswechsel beeinflussen, sondern hiermit in Verbindung auch die Beschaffenheit der in den Chlorophyllkörpern zur Ablagerung gelangenden Bildungsproducte bestimmen. Denn die Function der Chlorophyllkörper ist nachweislich eine doppelte, sie assimiliren und athmen, und dies führt dann im Verfolge meiner Vorstellung zu der naheliegenden Hypothese, die im nächsten Abschnitte weiter ausgeführt werden soll, dass es die Ansammlung des Farbstoffes ist, welche die Entstehung verschiedenartiger Bildungsproducte im Chlorophyllkörper veranlasst. Dies ist so zu verstehen, dass aus einem ursprünglichen, kohlenstoffreichen und sauerstoffarmen Producte, welches direct im Reductionsvorgange entsteht, durch die Athmung im Chlorophyllkorn höher oxydirte Körper hervorgehen, und dass diese je nach der wechselnden Athmungsgrösse, die in den verschiedenen Tageshelligkeiten wieder von der Tiefe der Farbe des Gewebes abhängt, bald ärmer, bald reicher an Sauerstoff werden.

So würde der Chlorphyllfarbstoff, wie ich schon in meiner ersten Publikation aussprach, durch seine Absorption der sogenannten chemischen Strahlen den beständigen Regulator in der Pflanze zwischen Licht, Athmung und Assimilation bilden, während seine Absorptionen im Roth vielleicht nur die Wärmewirkung der Strahlen in der Pflanze erhöhen mögen.

VI. Die Entstehung des Hypochlorins in der Keimpflanze und seine Beziehung zur Assimilation.

In den vorhergehenden Abschnitten suchte ich die Vorstellung zu begründen, dass die Chlorophyllkörper der Pflanzen nicht bloss Reductionsapparate sind, sondern dass sie gleichzeitig als Organe der Athmung dienen.

Diese Auffassung bestimmt auch den Standpunkt, den ich bei der Beurtheilung der Bildungsproducte in den Chlorophyllkörpern einnehme und der mich zu der Hypothese der Entstehung derselben durch ein Zusammenwirken von Assimilation und Athmung geführt hat.

Ich habe diesen Gedanken schon am Schlusse des vorigen Abschnitts kurz angedeutet und aus den Verhältnissen des Gaswechsels grüner Gewebe herzuleiten gesucht. Ich will ihn hier noch durch die anatomischen Befunde in den Chlorophyllkörpern näher begründen und gleichzeitig die Thatsachen beleuchten, die mich veranlassen, das Hypochlorin als das wahrscheinliche primäre Assimilationsproduct des Kohlenstoffes in den Gewächsen zu bezeichnen.

In den Chlorophyllkörpern entstehen, und zwar offenbar als unmittelbare Producte ihrer Function im Gaswechsel, verschiedenartige Substanzen, die als Einschlüsse in demselben abgelagert und später im Stoffwechsel wieder verbraucht werden. Diese Substanzen sind Stärke, Fett, wahrscheinlich Zucker und, wie ich in diesem Aufsatze nachwies, auch Gerbstoff und endlich das Hypochlorin, eine ölartige, Sauerstoff begierig aufnehmende und verharzende Substanz.

Jede vollständige Theorie der Assimilation darf daher nicht bloss die Entstehung einer einzigen Substanz berücksichtigen, sondern muss nothwendig die Bildung aller der genannten Körper-Gruppen im Chlorophyllkorn umfassen.

Unmöglich können aber alle diese Bildungen, die wir als Einschlüsse in den Chlorophyllkörpern beobachten, als unmittelbare Reductionsproducte der Kohlensäure gelten. Die Entstehung dieser verschiedenartigen Producte muss aber doch auf die Function der Chlorophyllkörper zurückgeführt werden.

In welcher Beziehung zur Function dieser Körper stehen nun diejenigen ihrer Einschlüsse, die nicht unmittelbare Reductionsproducte der Assimilation sind?

Die wissenschaftliche Controverse über den physiologischen Werth der Einschlüsse der Chlorophyllkörper hat bisher diese Frage gar nicht berührt, sondern sich damit begnügt, zu untersuchen, welcher Stoff primär bei der Zersetzung der Kohlensäure gebildet wird.

Von verschiedenen Seiten hat man bald Stärke, bald einen Zucker, bald auch Fett als dies primäre Erzeugniss angesehen.

Zunächst kam die Stärke in Betracht, schon deshalb, weil sie längere Zeit hindurch als das einzige kohlenstoffreiche Bildungsproduct der Chlorophyllkörper galt. Für sie sprach nicht nur ihre weite Verbreitung, sondern auch die nachgewiesene Abhängigkeit des Stärkegehaltes der Chlorophyllkörper von Licht und Kohlensäure. Sachs hat dies in zahlreichen Aufsätzen [1]) erschöpfend dargethan und sich hierdurch ein unbestreitbares Verdienst um die Kenntniss des Assimilationsvorganges erworben. Später haben Andere die Beweise hierfür gehäuft und erweitert.

Allein seitdem man weiss, dass die Stärke nicht das einzige Product der physiologischen Function der Chlorophyllkörper ist, musste ihre vorausgesetzte Bedeutung wieder in Frage kommen; denn die Thatsachen, welche die Beziehungen der Stärke zum Assimilationsvorgange darlegen, erweisen in der That nur, dass die Bildung von Stärke eine der weitaus häufigsten Folgewirkungen der Assimilation ist.

Dasselbe gilt aber in gleicher Weise von den beobachteten Fetteinschlüssen in den Chlorophyllkörpern; ebenso vom Zucker in den grünen Geweben, von den Gerbstoffbläschen bei Mesocarpus, und zuletzt von allen kohlenstoffreichen, ternären Bestandtheilen des Pflanzenkörpers. Die Bildung aller dieser Körper ist eine mehr oder weniger nahe Folgewirkung der Assimilation und hängt von Licht und Kohlensäure ab.

---

1) Bot. Zeit. 1862, p. 365; Flora 1862, p. 165 und 1863, p. 193; Jahrb. f. wiss. Bot. III. 1863, p. 199; Bot. Ztg. 1864, p. 289; Experimentalphysiologie, p. 133—934.

Unter allen diesen Körpern ist, ausser dem Hypochlorin, kein einziger, auch die Stärke nicht, ein constantes und nothwendiges, allen Chlorophyllkörpern gemeinsames Product.

Das Assimilationsproduct des Kohlenstoffes muss sich aber doch nothwendig in den Chlorophyllkörpern aller Gewächse vorfinden.

So verbreitet daher die Stärke auch in den Chlorophyll führenden Geweben auftritt, sie kann unmöglich, schon deshalb nicht, weil sie in vielen Chlorophyllkörpern fehlt, als das gesuchte allgemeine Reductionsproduct der Kohlensäure gelten.

Ebensowenig und aus denselben Gründen könnte dies aber ein Zucker sein der überdies noch gar nicht im Inneren der Chlorophyllkörper nachgewiesen ist, und noch viel weniger ein Fett, oder eine organische Säure.

Man kann sich aber auch nicht begnügen wollen, anzunehmen, dass es mehrfache, verschiedene Reductionsproducte in verschiedenen Pflanzen giebt, und dass die genannten Einschlüsse der Chlorophyllkörper alle in gleicher Weise als directe Assimilationsproducte verschiedener Pflanzen anzusehen sind. Eine solche Behauptung hätte nicht nur wenig Wahrscheinlichkeit für sich, sondern sie würde auch die Erkenntniss des Vorganges nicht im geringsten fördern.

Es giebt keine einzige positive Thatsache, die sie verlangt und es ist schon von anderer Seite bei Gelegenheit der Frage, ob in gewissen Pflanzen Fett an Stelle von Stärke das Assimilationsproduct sei, darauf hingewiesen worden, dass ihr gewichtige, factische Bedenken entgegenstehen.

Die Gleichartigkeit im Bau und in der Zusammensetzung der Chlorophyllkörper, und die grosse Uebereinstimmung im Gaswechsel der grünen Gewebe sprechen offenbar für die Identität des Assimilationsvorganges in allen Geweben. Es ist auch gar keine Ursache ersichtlich, warum in einem Falle die Kohlensäure zu Stärke, in dem anderen zu Fett u. s. w. reducirt werden sollte. Vor Allem aber darf nicht übersehen werden, dass die Annahme mehrfacher Reductionsproducte, wie oben bemerkt, die Thatsachen, welche vorliegen, gar nicht erklärt.

Zu welcher Assimilationshypothese man immer greifen will, die Aufgabe kann doch nur die sein, die Ursache aufzudecken, warum bei der Assimilation in der einen Pflanze Stärke, in einer anderen

Fett, oder Beides, Stärke und Fett, in einer dritten wieder Gerbstoff oder vielleicht ein Zucker, in allen endlich Hypochlorin im Inneren der Chlorophyllkörper wirklich gebildet und abgelagert wird.

Die besondere Entstehungsweise so verschiedenartiger Körpergruppen in den Chlorophyllkörpern muss sich doch zum mindesten der Möglichkeit nach aus der Assimilationshypothese herleiten lassen. Hierzu genügt aber nicht die blosse Behauptung der Thatsache, dass es so ist.

Die Vorstellung, zu der ich hierüber gelangt bin, schliesst sich nun genau an meine Untersuchungen über die Sauerstoff-Aufnahme der Chlorophyllkörper im Lichte, und über die chemische Beschaffenheit ihrer Einschlüsse an.

Ich gehe davon aus, dass sämmtliche Bildungsproducte der Chlorophyllkörper einen gemeinsamen chemischen Character von nicht zu unterschätzender Bedeutung für die Auffassung des Vorganges zeigen. Sie gehören alle zu den stickstofffreien Bestandtheilen des Pflanzenkörpers. Hieraus darf man mit Recht schliessen, dass die stickstoffhaltigen Bestandtheile der Zelle mit ihrer Substanz in den Assimilationsvorgang nicht hineingezogen werden.

Es entspricht dies vollkommen der ältesten und verbreitesten Vorstellung von der Assimilation des Kohlenstoffes. Und es ist gewiss beachtungswerth und zugleich beweisend genug, dass die bedeutende Erweiterung unserer Kenntnisse über die Bildungsproducte der Chlorophyllkörper nur dazu geführt hat, die alte Vorstellung zu bestätigen und zu befestigen, wonach die organische Stoffbildung in der Pflanze, soweit es die Assimlation des Kohlenstoffes betrifft, ein einfacher Reductionsvorgang ist, an welchem nur die Kohlensäure und das Wasser Theil nehmen.

Vom physiologischen Gesichtspunkte betrachtet erscheinen somit die sichtbaren Producte der Assimilation im Chlorophyllkörper: Hypochlorin, Fett, Stärke, Zucker, Gerbstoff; nur als in ihrem Sauerstoff-Gehalt verschiedene Abkömmlinge von Kohlensäure und Wasser. Hält man nun die Annahme eines einzigen, allgemeinen, für alle Pflanzen gleichartigen Reductionsproductes fest, so gelangt man, unter Berücksichtigung der starken Athmung der Chlorophyllkörper im Lichte, nothwendig zu der Vorstellung, dass der verschiedene Sauerstoff-Gehalt der Ablagerungsproducte durch die Athmungsgrösse

bestimmt wird, welche verschieden nach Helligkeit und Farbe aus einem gleichartigen, sauerstoffarmen Reductionsproduct sauerstoffreichere Körper von verschiedenem Sauerstoffgehalt entstehen lässt.

Der Möglichkeit dieser Hypothese steht auch von chemischer Seite nichts Entscheidendes entgegen. Ihre Zulässigkeit und ihre eigentliche Begründung liegt auf anatomischem und physiologischem Gebiete; in dem Vorhandensein ternärer Assimilationsproducte im Inneren der Chlorophyllkörper von verschiedenem Sauerstoff-Gehalt, deren Verschiedenartigkeit eine Erklärung verlangt, und in den Erfahrungen, die ich über die Beschaffenheit der Chlorophyllkörper und ihre Beziehungen zum Sauerstoff und zum Lichte gesammelt habe.

Das Reductionsproduct, als dessen Oxydationsderivate im weiteren Sinne ich die verschiedenen ternären Ablagerungen in den Chlorophyllkörpern betrachte, kann nur in jenen Tropfen gesucht werden, welche durch Salzsäure oder Wärme aus den Chlorophyllkörpern hervorquellen, denn sie enthalten alle gegen Licht empfindlichen und Sauerstoff im Lichte verzehrenden Bestandtheile der Chlorophyllkörper. Sie sind es, welche bei den Versuchen im intensiven Lichte unter Sauerstoff-Aufnahme verschwinden, während die stickstoffhaltigen Bestandtheile und ebenso alle beständigen ternären Assimilationsproducte, wie Stärke, Fett, Gerbstoff intact im Chlorophyllkörper zurückbleiben.

Als wesentlichen Bestandtheil dieser Tropfen habe ich das Hypochlorin nachgewiesen und habe zeigen können, dass es im Lichte äusserst begierig Sauerstoff aufnimmt und verschwindet. Die Vermuthung liegt nahe, dass dieser Körper, der in den Chlorophyll führenden Geweben überall auftritt und der nach seinen microchemischen Eigenschaften offenbar den ätherischen Oelen verwandt erscheint, das gesuchte Reductionsproduct der Kohlensäure ist und zugleich die stoffliche Grundlage der ternären Einschlüsse bildet, die sich als Material für den Stoffwechsel in den Chlorophyllkörpern ablagern und ansammeln.

Das Hypochlorin ist in der That, wenn wir vom Chlorophyllfarbstoff absehen, der einzige gegen Licht empfindliche und Sauerstoff verzehrende Körper, der allgemein im Inneren der bereits gestalteten Chlorophyllkörper gebildet und wieder verbraucht wird.

Das allgemein verbreitete Vorkommen des Hypochlorins in den

Chlorophyllkörpern aller grünen Gewächse hat bereits im ersten Abschnitte dieses Aufsatzes seine genügende Beleuchtung erfahren. Es giebt keine Abtheilung des Gewächsreiches, in welcher dasselbe in den Chlorophyllkörpern nicht gefunden würde. Es tritt in diesen überall neben Stärke, Fett und Gerbstoffbläschen auf, und ebenso dort, wo diese Körper fehlen.

Wenn die Frage einer genetischen Beziehung aufgeworfen wird, so können nach dem anatomischen Befunde diese Körper sämmtlich aus dem Hypochlorin, aber nicht umgekehrt dieses aus jenen hervorgehen.

Das zerstreute Auftreten des Hypochlorins unter den Chlorophyllkörpern derselben Zelle zeigt, dass es im Assimilationsvorgange der Chlorophyllkörper regelmässig wieder verbraucht werden muss.

Es ist bekannt, dass die Ansammlung der Ablagerungsproducte, namentlich der Stärke in den Chlorophyllkörpern mit ihrem Alter zunimmt.

Es ist wiederum nachweisbar, dass im Gegensatz zu dieser wachsenden Ansammlung der Stärke die Menge des Hypochlorins in den alternden grünen Zellen und Geweben abnimmt. Ich habe in den beigegebenen Tafeln dieses Verhältniss für Spirogyra (Fig. 2, 3, 4 Taf. XXII.) und Chara (Taf. XXI.) durch Abbildungen zu belegen gesucht. Je reicher die Chlorophyllkörper an Ablagerungsproducten werden, desto ärmer werden sie an Hypochlorin und dies darf gewiss gleichfalls als ein Zeichen für ihre Entstehung aus demselben gedeutet werden.

Ganz auffallend offenbart sich diese genetische Beziehung noch bei den Spirogyren und anderen Conferven, welche circumscripte Amylumheerde besitzen, in dem bemerkenswerthen und constanten Auftreten des Hypochlorins an diesen typischen Bildungsstätten der Stärke. Hier kann der causale Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Stärke und des Hypochlorins, nach dem, was ich über dieses Verhältniss früher mittheilte, nicht wohl geleugnet werden.

Wir sehen daher, wo immer Chlorophyll erscheint, ist auch Hypochlorin nachweisbar, dies geht so weit, dass auch dort, wo die Chlorophyllkörper nur sparsam, zerstreut und selbst nur ausnahmsweise, gleichsam überflüssig, auftreten, z. B. in den Zellen der Epidermis und der Haare der Phanerogamen (Fig. 6 Taf. XXII.) oder

in den Zellen phanerogamischer Parasiten, welche Chlorophyll besitzen (Fig. 10 Taf. XXIV.), jedesmal, man kann sagen, als Beweis für die Assimilation dieser Chlorophyllkörper, die braunen Hypochlorinabscheidungen nach Behandlung mit Salzsäure zur Erscheinung kommen.

Das Hypochlorin ist daher nicht nur ein allgemeines und unfehlbares Erzeugniss der Chlorophyllkörper, sondern zeigt auch unverkennbare, räumliche und zeitliche Beziehungen zur Bildung der Ablagerungsproducte in denselben, namentlich zur Entstehung der Stärkeeinschlüsse.

Zu diesen rein anatomischen Nachweisen tritt dann noch der strengere, experimentelle Beweis hinzu, dass die Bildung des Hypochlorins in den Keimpflanzen wirklich unter dem Einflusse des Lichtes steht.

Finsterkeimlinge der Angiospermen, die von der Aussaat an vor Lichtwirkung geschützt waren, sind, wenn sie ans Licht gebracht werden, nicht nur, wie man weiss, nicht grün, sondern sie besitzen auch niemals Hypochlorin. Die Dauer ihrer Cultur im Finstern ist hierbei ganz gleichgültig. Das Hypochlorin kann sich in den Keimlingen der Angiospermen aus den Reservestoffen nicht regeneriren, auch dann nicht, wenn die Keimlinge bis zur völligen Erschöpfung ihrer Reservestoffe im Finstern fortwachsen. Es muss zu seiner Bildung Licht hinzutreten und zwar Licht von höherer Intensität, als zum blossen Ergrünen der Keimlinge nöthig ist. Aehnlich wie der Chlorophyllfarbstoff entsteht das Hypochlorin in den Keimlingen nur dann, wenn sie noch im entwickelungsfähigen Alter ans Licht gebracht werden, und ist in ihnen relativ zum Farbstoff erst spät nachweisbar, erst, nachdem sie bereits längere Zeit unter dem Einflusse des Lichtes gestanden haben und erst lange, nachdem sie ergrünt sind.

Zur näheren Orientirung sollen hier noch die genaueren Angaben über meine Versuche mit Erbsen, Hanf, Gurken, Lein u. s. w. folgen. Es sind dieselben, die ich schon früher an anderer Stelle[1]) mitgetheilt habe.

Finsterkeimlinge derselben Aussaat wurden hierbei in Parallel-

1) Monatsber. d. Berl. Akad., Nov 1879.

Versuchen zur Constatirung des Hypochlorins vor und nach der Lichtwirkung in gleicher Weise mit Salzsäure behandelt.

Nach achttägigem Dunkelleben sind die Finsterkeimlinge dieser Pflanzen noch völlig ergrünungs- und entwickelungsfähig; sie ergrünen bei einer Temperatur von etwa 20 bis 23° C. im Versuchsraume — in den Monaten Juli und August — wenn sie einem hellen diffusen Tageslichte ausgesetzt werden, schon in 2 bis 3 Stunden deutlich und sind in 6 bis 10 Stunden satt und tief grün.

8- bis 13-tägige Finsterkeimlinge dieser Pflanzen tief gelb — die Gurken-Cotyledonen, wie dies bei diesen Pflanzen häufig der Fall ist, trotz ihres Finsterlebens schon verdächtig grün — zeigen, mit Salzsäure untersucht, in ihren Geweben keine Spur von Hypochlorin.

8-tägige Finsterkeimlinge derselben Pflanze und derselben Aussaat 6 Stunden am Licht sind deutlich bis tief grün; ihre Gewebe aber zeigen keine Spur von Hypochlorin.

8-tägige Finsterkeimlinge derselben Aussaat 13 bis 16 Stunden ununterbrochen dem hellen diffusen Tageslicht ausgesetzt, verhalten sich, obschon sie jetzt bereits tief ergrünt sind, noch ebenso; noch findet sich in ihren Geweben kein Hypochlorin.

8-tägige Finsterkeimlinge derselben Aussaat 19 bis 20 Stunden am Licht zeigen jetzt, wenn auch im Ganzen erst sparsam, die ersten Spuren von Hypochlorin (Fig. 5, 6, 7 Taf. XXIII.).

8-tägige Finsterkeimlinge derselben Aussaat endlich 30 bis 31 Stunden dem vollen Tageslichte ausgesetzt, enthalten jetzt in allen Geweben Hypochlorin. Die Plumulae der Erbsen (Fig. 10 Taf. XXIII.), des Hanfes (Fig. 8 Taf. XXIII.), die grünen Gewebe der Cotyledonen der Gurken (Fig. 11 Taf. XXIV.) und des Leins, auch die jugendlichen, kaum etwas Farbstoff besitzenden Zellen dieser Gewebe, sind jetzt reich an Hypochlorin.

Aus diesen Untersuchungen, die ich mit demselben Erfolge später noch auf andere Keimlinge ausgedehnt habe, geht daher soviel unzweifelhaft hervor, dass das Hypochlorin bei den Angiospermen erst unter dem Einflusse des Lichts entsteht und hier daher unbedingt eine Folgewirkung der Assimilation ist.

Wir sehen aber auch, dass es in den Geweben erst constatirbar wird, nachdem die Keimlinge eine längere Zeit dem Lichte ausgesetzt waren und nachdem sie tief ergrünt sind.

Auch diese bemerkenswerthe und bedeutungsvolle Thatsache lässt sich aus der Beziehung des Farbstoffes zur Athmung erklären.

Unfehlbar wird das Hyphochlorin mit Beginn der Beleuchtung in der Pflanze gebildet, denn es ist nicht einzusehen, warum das Licht die Wirkung, die es auf die Bildung dieses Stoffes nachweislich hat, in den ersten 20 Stunden seiner Wirksamkeit nicht ausüben sollte.

Da das Hypochlorin erst nachweisbar wird, nachdem die Keimlinge tief ergrünt sind, so darf man schliessen, dass es im Lichte verzehrt wird, bis eine genügende Menge von Farbstoff zu seinem Schutze entstanden ist, und dies führt auf die Vermuthung, das Hypochlorin möchte in der ersten Zeit seiner Entstehung selbst in den Farbstoff übergeführt werden und so die Muttersubstanz auch des Chlorophyllfarbstoffes sein. Auf diese Hypothese, die auch das Ergrünen der Gymnospermen im Finstern erklären könnte, werde ich noch mit einigen Worten am Schlusse zurückkommen.

Dies Verhältniss des Hypochlorins zur Assimilation und Athmung, welches die Bildungsvorgänge in dem Finsterkeimlingen ersichtlich machen, wenn diese an's Licht gebracht werden, wird noch anschaulicher, wenn man die Versuche etwas abändert und die Finsterkeimlinge nicht dem vollen, hellen Tageslicht aussetzt, sondern sie im Halbdunkel erzieht. Im Halbdunkel, d. h. in stark verdunkelten Räumen, ergrünen Keimlinge bekanntlich vollständig, ohne sich am Leben erhalten zu können. Sie gehen nicht viel später zu Grunde, als wenn sie ganz im Finstern vegetiren würden.

Man hat mit Unrecht aus dieser Thatsache den Schluss gezogen, den ich schon Seite 383 zurückwies, dass das Ergrünen der Gewächse bei geringerer Lichtintensität erfolgt als die Assimilation.

In der That ist bei diesen niedrigen Lichintensitäten das Verhältniss der Assimilation zur Athmung nur ein für die Assimilation noch ungünstiges. Die Assimilationsproducte werden daher ohne bleibenden Gewinn für die Pflanze wieder verbraucht. —

Lässt man nun Keimlinge in so verdunkelten Räumen wachsen, bei Helligkeiten, welche zwar noch zum Ergrünen genügen, nicht

aber mehr zur Entwickelung von freien Sauerstoff, so kann sich in ihnen auch kein Hypochlorin ansammeln.

Solche im Halbdunkel erzogene Pflänzchen — mag man sie vom Beginn der Keimung an im Halbdunkel erziehen, oder reine Finsterkeimlinge später ins Halbdunkel bringen — zeigen keine Spur von Hypochlorin, wenn auch die Pflänzchen ebenso gut ausgebildet und ebenso tief ergrünt sind, wie es sonst bei Keimlingen der Fall ist, die einige Tage frei bei vollem Licht sich entwickelt haben und in deren Geweben immer reichlich Hypochlorin enthalten ist.

Als Belege gebe ich einige Abbildungen, die aus denselben Geweben gleichalteriger Finsterkeimlinge, die zu den Parallel-Versuchen benutzt wurden, herstammen. Die einen waren 30 Stunden dem vollem Tagelicht ausgesetzt, die anderen 45 Stunden in mässigem Halbdunkel cultivirt; und zwar von:

Cannabis — 10 Tage alt — Fig. 8 Taf. XXIII. 30 Stunden im vollen Licht.
Fig. 9 Taf. XXIII. 45 Stunden im Halbdunkel.

Pisum — 10 Tage alt — Fig. 10 Taf. XXIII. 30 Stunden im vollen Licht.
Fig. 11 Taf. XXIII. 45 Stunden im Halbdunkel.

Cucumis — 10 Tage alt — Fig. 11 Taf. XXIV. 30 Stunden im vollen Licht.
Fig. 12 Taf. XXIV. 45 Stunden im Halbdunkel.

Ob sich in den im Halbdunkel cultivirten Pflänzchen nach längerer Zeit, selbst nach 8 bis 14 Tagen, schliesslich doch schon etwas Hypochlorin vorfindet, hängt selbstverständlich ganz von der Regulirung der Helligkeit ab, denn sobald die Assimilation grösser wird als die Athmung, kann sich das Hypochlorin in den ergrünenden Keimlingen ansammeln und seine Menge nimmt mit der Steigerung der Helligkeit zu.

Man kann aber schön ergrünte Keimlinge ohne Hypochlorin im Halbdunkel leicht und einfach erziehen, wenn man z. B. die Pflänzchen unter Glasglocken wachsen lässt, die mit grauem Papier

bekleidet in einem tiefen Zimmer in grösserer Entfernung vom Fenster an der Hinterwand aufgestellt sind. — Dass in grünen Pflänzchen, die so erzogen werden, sich kein Hypochlorin findet, während es doch sonst, wenn die Pflanzen bei vollem Lichte wachsen, in ihren Chlorophyllkörpern niemals fehlt, scheint mir ein deutlicher Beweis dafür, dass das Hypochlorin in der Assimilation entsteht, aber in der Athmung wieder verbraucht wird, so lange eben die Athmung im Lichte grösser ist, als die Assimilation.

Die Abhängigkeit der Entstehung des Hypochlorins vom Lichte ist somit mit völliger Sicherheit nachgewiesen. Dagegen lässt sich die Abhängigkeit seiner Entstehung von der Kohlensäure Spannung im Versuchsraume durch directe Versuche nicht ermitteln, weil es nicht möglich ist, die Kohlensäure aus den Geweben zu entfernen und auszuschliessen, sofern nämlich die Versuche sich über längere Zeiträume hinaus erstrecken müssen.

Cultivirt man Keimlinge in kohlensäurefreien Räumen, so gelingt es daher niemals die Kohlensäure-Spannung durch Absorptionsmittel im Versuchsraume so weit herabzusetzen, um die Bildung von Hypochlorin in den Geweben völlig zu unterdrücken. Dies kann aber kaum auffallen, da man berücksichtigen muss, dass die Zeitdauer der Versuche hier als wichtiger Factor bei der Production der Kohlensäure in den Geweben in Rechnung zu ziehen ist. Man darf hierin keineswegs einen Beweis suchen, dass die Hypochlorinbildung unabhängig von der Assimilation erfolgt, denn bei dem Vorhandensein von Sauerstoff im Versuchsraume, der hier ja schon für das Ergrünen nothwendig ist, muss sich bei der Länge der Zeit, welche unter diesen Umständen vergeht, bis das Hypochlorin in den Geweben sichtbar wird, nach und nach Kohlensäure genug in den Geweben ansammeln, um als Bildungsmaterial für das Hypochlorin verwerthet werden zu können.

Viel auffallender ist der Umstand, dass das Hypochlorin ebenso wie der Chlorophyllfarbstoff auch ohne Licht in den Finsterkeimlingen der Gymnospermen entsteht.

Das Verhältniss ist folgendes:

Die farblosen Embryonen der Pinus-Arten z. B. von Pinus picea, montana, maritima, Larix, enthalten keine Spur von Hypochlorin.

Lässt man sie im Finstern keimen und cultivirt sie unausgesetzt

mit möglichstem Ausschlusse des Lichtes im Finstern, so werden sie nach einiger Zeit trotzdem grün. Diese merkwürdige Thatsache, die bis heute ihrer Ursache nach unaufgeklärt ist, ist bekanntlich von Sachs entdeckt worden.

Untersucht man nun die ergrünenden und ergrünten Finsterkeimlinge dieser Gymnospermen auf die Existenz von Hypochlorin, so zeigt sich, dass dasselbe in den ersten Stadien der Keimung, auch nachdem die Keime bereits ergrünt sind, noch fehlt. In den späteren Stadien der Keimung aber, wenn diese lange genug im Finstern fortgeführt wird, tritt allerdings auch im Finstern Hypochlorin in ihnen auf.

Die folgende Tabelle soll über dies Verhalten bei Pinus picea Auskunft geben.

Hypochlorin-Gehalt der Finsterkeimlinge von Pinus picea in verschiedenem Alter; belichtet und unbelichtet.

(Alle Keimlinge, auch die nicht belichteten zur Zeit der Untersuchung tief grün.)

Alter der Keimlinge in Tagen		Zahl der untersuchten Keimlinge	Befund an Hypochlorin. Es war vorhanden:
überhaupt	davon belichtet		
12	0	3	In allen 3 Keimlingen Nichts.
12	0	3	In 2 Keiml. Nichts; in 1 Keiml. vielleicht ein Spur.
15	0	3	In 2 Keiml. Nichts; in 1 Keiml. wenig.
17	0	1	Nichts.
18	1	1	Eine Spur.
19	0	1	Nichts; vielleicht eine Spur.
19½	2½	1	Etwas, aber nicht viel.
21	1	1	Eine Spur.
22	0	1	Nichts; vielle icht eine Spur.
22	0	3	In allen 3 Keiml. Etwas; aber wenig.
23	3	1	Ziemlich Viel.
24	5	1	Ziemlich Viel.

Alter der Keimlinge in Tagen		Zahl der unter-	Befund an Hypochlorin.
überhaupt	davon belichtet	suchten Keimlinge	Es war vorhanden:
26	0	6	In 4 Keiml. Nichts; in 2 Keiml. Etwas.
26	7	4	In allen 4 Keiml. Sehr Viel.
28	0	1	Eine Spur.
28	0	3	In 2 Keiml. Nichts; in 1 Keiml. Wenig.
28	8	1	Sehr Viel.
33	11	1	Sehr Viel.
39	0	6	In 3 Keiml. eine Spur; in 3 Keiml. Viel.
39	7	6	In allen 6 Keiml. Sehr viel.

Noch entschiedener als hier bei Pinus picea findet man das Hypochlorin in 4 Wochen alten reinen Finsterkeimlingen von Pinus maritima. Es lässt sich daher durchaus nicht leugnen, dass das Hypochlorin in den Keimlingen der Gymnospermen, gerade so wie auch der Chlorophyllfarbstoff, im Finstern entsteht. Beide Körper zeigen in ihrr Bildung auch hier das gleiche Entwickelungsverhältniss, wie im Lichte in den Keimlingen der Angiospermen; das Ergrünen eilt scheinbar der Hypochlorinbildung weit voran, denn bemerkenswerthe Mengen desselben finden sich in der Mehrzahl der Keimlinge erst, wenn sie älter — etwa 4 bis 5 Wochen alt — geworden sind, und nachdem sie bereits lange vorher in allen Theilen tief ergrünt sind.

Ferner aber zeigen trotzdem die Parallel-Versuche mit belichteten und unbelichteten Finsterkeimlingen auch hier deutlich genug, dass das Licht einen fördernden Einfluss auf die Hypochlorinbildung ausübt.

Das Verhalten der Gymnospermen-Keimlinge lässt sich daher keineswegs gegen die Hypothese verwerthen, dass das Hypochlorin in der Assimilation gebildet wird. Die Entstehung desselben in den Finsterkeimlingen der Gymnospermen kann die unbestreitbare Thatsache nicht entkräften, dass seine Bildung bei den Angiospermen und bei den erwachsenen Gymnospermen eine unzweideutige Lichtwirkung ist. Ebensowenig, wie man aus dem Ergrünen der Finsterkeimlinge der

Gymnospermen schliessen darf, dass das Licht überhaupt ohne Einfluss auf Chlorophyllbildung ist.

Man wird nur zugeben dürfen, dass in den Keimlingen der Gymnospermen Verhältnisse obwalten, welche hier die Entstehung des Hypochlorins auch ohne Assimilation im Stoffwechsel ermöglichen. Die Erklärung liegt nahe, dass in die Samen der Gymnospermen schon aus der Mutterpflanze eine Substanz — vielleicht ein aetherisches Oel — übergeht, aus welchem bei der Entwickelung der Keimlinge das Hypochlorin entstehen kann.

Welcher Körper immer im Assimilationsvorgange gebildet wird, es ist ja nicht ausgeschlossen, dass derselbe auch im Stoffwechsel der Pflanze aus seinen eigenen Abkömmlingen regenerirt werden kann. Für alle näheren Bestandtheile der Gewächse ist dies doch ohnedies der Fall. Und in Bezug auf seine Entstehung zeigt sich das Hypochlorin schon strenger an die Assimilation gebunden, als jeder andere nähere Bestandtheil des Pflanzenkörpers, der hier in Frage kommen kann, denn aus der ganzen Reihe der Stoffe, die im Chlorophyllapparat vorkommen ist es — wieder neben dem Chlorophyllfarbstoff — der einzige, welcher in den Angiospermen ohne Licht nicht entstehen kann.

Der absolute Beweiss, dass in dem Hypochlorin bereits das erste Assimilationsproduct der Gewächse vorliegt, kann allerdings auf dem rein anatomischen Wege, den ich bei meinen Versuchen festgehalten habe, mit völliger Sicherheit kaum geführt werden. Die Kenntniss dieses Körpers ist trotz seiner allgemeinen Verbreitung in den grünen Geweben noch zu jung. Erst die künstliche Nachahmung des Assimilationsvorganges wird alle Zweifel zu beseitigen und die Ueberzeugungen zu bestimmen vermögen.

Allein fassen wir das bisher Gesagte zusammen und überblicken wir alle bekannten Vorgänge im Chlorophyllapparat, so erscheint doch die nahe Beziehung des Hypochlorins zur Function der Chlorophyllkörper, zu ihrer Assimilation und Athmung, durch die vorliegenden Angaben über seine Entstehung und sein constantes Vorkommen im Chlorophyllkörper, ferner durch sein nachgewiesenes Verhalten zum Licht und zum Sauerstoff völlig sicher gestellt. —

Unter allen Körpern, mit welchem das Hypochlorin gemeinschaftlich in der Zelle vorkommt, zeigt es zu keinem nähere örtliche Be-

ziehungen als zum Chlorophyllfarbstoff. Diese sind so gross, dass ich bei meinen ersten Untersuchungen über diesen Körper geneigt war, die Hypochlorinbildungen als künstliche Producte anzusehen, welche durch die angewendeten Reagentien aus dem Farbstoff erzeugt würden. Ich habe diese Vorstellung erst fallen lassen, nachdem sie durch die zahlreichen Beobachtungen und Versuche, die ich hier und schon früher [1]) mitgetheilt habe, sich als ganz unhaltbar erwies. Das beständige gemeinsame Auftreten von Hypochlorin und Farbstoff und ihre ungemein schwierige Trennung von einander kann nun der schon oben berührten Vermuthung Raum geben, dass möglicher Weise ein genetischer Zusammenhang zwischen beiden existirt und diese Vermuthung muss hier noch zum Schluss mit einigen Worten berührt werden, obgleich sich Positives hierüber bis jetzt nicht feststellen lässt.

Die Thatsache, dass das Hypochlorin stets nur im Chlorophyllkörper gefunden wird, erklärt sich freilich auch ohnedies schon daraus, dass es ein Product der Chlorophyllkörper ist und zugleich aus der Function des Farbstoffes, denn das Bestehen des Hypochlorins im Lichte ist ja vom Vorhandensein des Farbstoffes abhängig.

Trotzdem sind doch die übereinstimmenden Entstehungsbedingungen beider Körper sehr auffallend; besonders aber ihre gemeinsame Bildung im Finstern in den Gymnospermenkeimlingen, weil ja die Existenz beider Körper sonst überall vom Lichte abhängig ist. Dies legt die Annahme eines gemeinsamen oder doch eines zusammenhängenden Ursprunges in den Gymnospermenkeimlingen sehr nahe. Besteht nun ein solcher Zusammenhang, und würde etwa der Chlorophyllfarbstoff aus dem Hypochlorin entstehen, so müsste derselbe gleichfalls zu den Assimilationsproducten gerechnet werden.

Dies Letztere ist nun keineswegs undenkbar und dies wünsche ich gegenüber den jetzigen Behauptungen hier noch schliesslich hervorzuheben.

Die Gründe, die man gegen die Möglichkeit der Entstehung des Chlorophyllfarbstoffes in Folge der Assimilation angeführt hat, können nicht als Gegenbeweise gelten.

Die Annahme, dass der Chlorophyllfarbstoff eine Voraussetzung und eine Bedingung der Assimilation ist, glaube ich in diesem Auf-

---

1) Monatsb d. Berl. Acad. d Wiss. November 79.

satze genugsam widerlegt und die Function, die er in der Pflanze wirklich ausübt, erwiesen zu haben.

Das Ergrünen der Gymnospermenkeimlinge im Finstern und die Bildung von Chlorophyll in sogenannten kohlensäurefreien Räumen sind hier ebenso wenig stichhaltig, wie gegenüber der Annahme, dass das Hypochlorin Product der Assimilation ist.

Die Behauptung, dass das Ergrünen der Gewächse früher stattfindet, als die Assimilation, habe ich bereits oben auf eine missverständliche Auffassung der Erscheinung zurückgeführt.

Man kann sich kaum dem unmittelbaren Eindrucke entziehen, welcher das Ergrünen der Gewächse als eine der nächsten Folgewirkungen der Assimilation erscheinen lässt.

Der Zeitpunkt des bemerkbaren Ergrünens fällt merkwürdig nahe zusammen mit der frühesten Entwickelung von Sauerstoff aus den Geweben. Und doch muss ja nothwendig nach Allem, was ich hier dargelegt habe, die Assimilation schon früher beginnen, als die Sauerstoff-Abgabe der Gewebe zur Beobachtung gelangt.

Wo Licht auf die Pflanze wirkt, entsteht gemeinsam Hypochlorin und Chlorophyll.

Im Sinne der Theorie der Chlorophyllfunction, die ich hier aufgestellt habe, erscheint das Ergrünen der Gewächse als eine natürliche Anpassung für das Bedürfniss der Grösse der Assimilation. Die Entstehung eines schützenden Farbstoffes aus dem Hypochlorin, dessen Ansammlung im Lichte die nützliche Wirkung der Assimilation ist, würde diesem Bedürfnisse der Pflanze in einfacher und naheliegender Weise entsprechen.

VII. Genauere Beschreibung einer Anzahl micro-photochemischer Versuche im intensiven Sonnenlicht und ihrer Resultate.

Die folgenden Notizen sollen über die Ausführung und die Resultate meiner Versuche speziellere Angaben bringen und können als Belege für dieselben gelten. Sie sind in der Form wiedergegeben, wie ich sie während der Versuche unmittelbar niedergeschrieben habe.

Ich habe aus der ganzen Reihe meiner Versuche nur einige ausgewählt. Vorzugsweise fortlaufende Versuchsreihen, bei denen die Sonne während der ganzen Dauer der vergleichenden Versuche beständig unbewölkt blieb und bei denen daher die Intensität der Beleuchtung und die specifische Energie der Versuchsobjecte in den Parallel-Versuchen als gleich angesehen werden durfte.

Die in den Versuchen wirksamen farbigen Sonnenbilder wurden durch Einschaltung farbiger Flüssigkeiten erzeugt, deren optische Concentration durch die Spectra der betreffenden Sonnenbilder ersichtlich wird, die auf Taf. XXVI. Fig. 1 abgebildet sind.

Für die farbigen Sonnenbilder wurden folgende Lösungen benutzt:

für die rothen — Jod in Schwefelkohlenstoff,
für die gelben — Kalibichromat,
für die grünen — Chlorkupfer,
für die blauen — Schwefelsaures Kupferoxyd-Ammoniak.

Bei den Versuchen ist jedesmal durch Hinweis auf das betreffende Spectrum der Fig. 1 Taf. XXVI. die Farbe des wirksamen Sonnenbildes näher bezeichnet.

Erste Versuchsreihe. Versuche mit verschiedenfarbigen concentrirten Sonnenbildern in atmosphärischer Luft.

A. Spyrogyra crassa; 29. IX. 78. 2 Parallel-Versuche in Blau und Roth.

Versuchsobject in beiden folgenden Versuchen derselbe im Winkel (V) gebrochene Faden mit einem längeren und einem kürzeren Schenkel.[1]

1) Für die Fälle, wo keine Wirkung erfolgt, wie z. B. im Roth und in Wasserstoff, oder wenn man mehrere Versuche nacheinander unter verschiedenen Umständen machen will, ist es wichtig, die Zellen, die insolirt werden, vorher zu bezeichnen, weil man sie sonst gar nicht wiedererkennt. Ein einfaches Mittel, welches ich bei den Fadenalgen anwandte, ist folgendes: ich habe den Faden jedesmal leicht mit einer Staarnadel eingeknickt und kniefömig im Winkel gebogen (V). Indem ich die Schenkel des Winkels hierbei verschieden lang nahm und die einzelnen Zellen immer vom Scheitel des Winkels aus zählte, konnte ich stets mehrere Versuche unter verschiedenen Umständen, z. B. bei verschiedenfarbigem Lichte oder in verschiedenen Gasen an verschiedenen Zellen desselben Fadens anstellen, ohne in einen Irrthum über die zu den verschiedenen Versuchen benutzten Zellen zu verfallen und ohne dass es nöthig wurde, den Versuchsfaden in der Gaskammer nach jedem Versuche zu erneuern.

Versuch 1: in Blau.

Blau I., Lichtschwach, Spectrum *ι*, Taf. XXVI. Im Sonnenbilde liegen Zelle 7, 8, 9 des kurzen Schenkels.

Insolation: **5** Minuten { von 9 U. 40 M. bis 9 U. 45 M. } Sonne beständig klar, unbewölkt.

Resultat: Kräftige Wirkung. Chlorophyllbänder der getroffenen Zellen vollständig entfärbt.
Körnchenbewegung sistirt.
Centralplasma blasig angeschwollen.
Cytoblast zuerst noch mittelpunktständig, kurz darauf deplacirt.
Plasmastränge zerrissen. Zelle todt.

Versuch 2: in Roth.

Roth II., Lichtstark, Spectrum *δ*, Taf. XXVI. Im Sonnenbilde liegen Zelle 20, 21, 22 des langen Schenkels.

Insolation: **7** Minuten { von 9 U. 51 M. bis 9 U. 58 M. } Sonne beständig klar, unbewölkt.

Resultat: Keine Spur von Wirkung, weder sogleich noch später; Farbe, Form, Anordnung und Beschaffenheit der Zellinhalte vollkommen erhalten.

B. Spirogyra jugalis; 6. V. 79.; 4 Parallel-Versuche in Grün, Roth und Blau.

Versuchsobject in den folgenden 4 Versuchen derselbe im Winkel gebrochene Faden mit einem längeren und einem kürzeren Schenkel.

Versuch 3: in Grün.

Grün III., Lichtstark, Spectrum *θ*, Taf. XXVI. Im Sonnenbilde liegen Zelle 19 und 20 des langen Schenkels.

Insolation: **5** Minuten { von 1 U. 15 M. bis 1 U. 21 M. } Sonne beständig klar, unbewölkt.

Resultat: Starke Wirkung.
Chlorophyllbänder in beiden insolirten Zellen fast vollständig entfärbt.
Contraction der Bänder eingetreten.
Centralplasma blasig angeschlossen.
Kurze Zeit nach Beendigung des Versuches Cytoblast schon deplacirt. Plasmastränge zerrissen. Zelle todt.

Versuch 4: in Roth.

Roth II, Lichtstark, Spectrum δ, Taf. XXVI. Im Sonnenbilde liegen Zelle 17 und 18 des kurzen Schenkels.

Insolation: **10** Minuten { von 11 U. 28 M. bis 11 U. 38 M. } Sonne beständig klar, unbewölkt.

Resultat: Keine Spur von Wirkung.

Chlorophyllbänder in Farbe, Form und Lage erhalten.

Körnchenbewegung erhalten.

Cytoblast, Centralplasma, Plasmastränge in unveränderter Lage und Beschaffenheit.

Auch einige Stunden später zeigen die insolirten Zellen sich in Farbe, Lage und Beschaffenheit ihres Inhaltes völlig unverändert und normal.

Versuch 5: im Roth.

Roth II., Lichtstark, Spectrum δ, Taf. XXVI. Im Sonnenbilde liegen Zelle 3 und 4 des langen Schenkels.

Insolation: **14** Minuten { von 11 U. 48 M. bis 12 U. 2 M. } Sonne beständig klar, unbewölkt.

Resultat: Keine Spur von Wirkung, weder auf Farbe der Bänder noch auf Cytoblast, Centralplasma, Plasmastränge und Körnchenbewegung.

Auch später macht sich — ganz wie im Versuch 4 — keine Wirkung bemerkbar. Die insolirten Zellen bleiben grün und normal.

Versuch 6: im Blau.

Blau II., Lichtstark, Spectrum $\varkappa$, Taf. XXVI.

Insolation: **6** Minuten { von 12 U. 10 M. bis 12 U. 16 M. } Sonne beständig klar, unbewölkt,

Resultat: Kräftige Wirkung. Chlorophyllbänder entfärbt; Centralplasma und Cytoblast blasig angeschwollen und deplacirt. Plasmastränge gerissen theils verschwunden. Zelle todt.

C. Spirogyra jugalis; 12. V. 79.; 3. Parallel-Versuche in Roth und Grün.

Versuchsobject in den folgenden 3 Versuchen derselbe im Winkel gebrochene Faden mit einem längeren und einem kürzeren Schenkel.

Versuch 7: im Roth.

Roth II., Spectrum δ, Taf. XXVI. Im Sonnenbilde liegen Zelle 4 und 5 des langen Schenkels.

Insolation: **16** Minuten { von 11 U. 23 M. bis 11 U. 39 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Keine Wirkung; Farbe, Anordnung, Cytoblast, Plasmastränge u. s. w. Alles in der Zelle vollkommen normal. Auch später bleibt die Zelle unverändert.

Versuch 8: im Grün.

Grün II., lichtschwaches Grün, Spectrum η, Taf. XXVI. Im Sonnenbilde liegen Zelle 15 und 16 des kurzen Schenkels.

Insolation: **7** Minuten { von 11 U. 49 M. bis 11 U. 56 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Kräftige Wirkung, Chlorophyllbänder entfärbt. Centralplasma mit Cytoblast blasig geschwollen, deplacirt. Plasmastränge zerrissen. Zelle todt.

Versuch 9: im Roth.

Roth II., Lichtstarkes Roth, Spectrum δ, Taf. XXVI. Im Sonnenbilde liegen Zelle 2 und 3 des kurzen Schenkels.

Insolation: **20** Minuten { von 12 U. 3 M. bis 12 U. 23 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Keine deutliche Wirkung.

Chlorophyllbänder in Farbe, Form, Lage erhalten. Ordnung, Centralplasma, Cytoblast, Plasmastränge in Form, Lage, Beschaffenheit unverändert.

Aber Körnchenbewegung sistirt.

2 Stunden später zeigen sich diese 20 Minuten lang dem concentrirten hellen Roth ausgesetzten Zellen völlig gesund und in jeder Beziehung normal. Auch die Körnchenbewegung ist zurückgekehrt. Die Zellen bleiben auch später grün und normal.

D. Nitella flexilis: 14. V. 79: 2 Parallel-Versuche in Grün und Roth.

Versuchsobject in den beiden folgenden Versuchen die Enzellen (a u b.) desselben Blattes (Fig. 4 Taf. XII).

Versuch 10: in Grün.

Grün III., Spectrum ϑ, Taf. XXVI. Das Sonnenbild trifft ungefähr die Mitte der Zelle a.

Insolation: **3** Minuten { von 1[illegible] U. 1 M. bis 1 U. 4 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Starke Wirkung. Entfärbung bedeutend aber nicht vollständig an der insolirten Stelle.

Bewegung vollständig erhalten, normal. Anordnung der Chlorophyllreihen überall erhalten.

Nach mehreren Tagen (Fig. 5 Taf. XII.) ist die Zelle noch vollkommen normal. Anordnung der Chlorophyllkörper-Reihen und Indifferenzstreifen völlig erhalten und normal; ebenso geht die Bewegung lebhaft und normal in einem Kreisstrom durch die ganze Zelle.

Die entfärbten Chlorophyllkörper der insolirten Stelle haben sich aber von der Wand abgelöst, sind in die Stromebene gefallen und bewegen sich gleich den übrigen Inhaltskörpern des Schlauches durch die ganze Strombahn der Zelle auch durch die insolirte Stelle hindurch.

Eine Neubildung von Chlorophyllkörpern findet an dieser Stelle auch nach Monaten nicht mehr statt, obgleich die Schläuche in diesem Zustande sich Monate lang lebendig und normal erhalten können.

Versuch 11: im Roth.

Roth II., Spectrum δ, Taf. XXVI. Das Sonnenbild trifft ungefähr die Mitte der Zelle b Fig. 4 Taf. XII.

Insolation: **16** Minuten { von 1 U. 28 M. bis 1 U. 48 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Keine Spur von Wirkung irgend einer Art; Farbe der getroffenen Stelle, Chlorophyllkörner, Ordnung und Bewegung der Zelle völlig erhalten.

E. Nitella flexilis; 24. V. 79.; 4 Parallel-Versuche im Grün, Gelb, Blau und Roth.

Versuchsobjecte in den folgenden 4 Versuchen sind wieder möglichst gleichartige Endsegmente fructificirender Blätter desselben Sprosses.

Versuch 12: im Grün.

Grün III., Spectrum ϑ, Taf. XXVI.

Insolation: **5** Minuten { von 7 U. 42 M. bis 7 U. 47 M. } Sonne beständig klar.

Versuch 13: im Gelb.

Spectrum ε, Taf. XXVI.

Insolation: **5** Minuten { von 7 U. 52 M. bis 7 U. 57 M. } Sonne beständig klar.

Versuch 14: im Blau.

Spectrum *e*, Taf. XXVI.

Insolation: **5** Minuten { von 8 U. — M. / bis 8 U. 5 M. } Sonne beständig klar.

Resultat in allen 3 Versuchen mehr oder weniger starke Wirkung; Entfärbung der insolirten Stelle; Schwächung des Stromes und später Tod der Zelle. Dagegen im:

Versuch 15: im Roth.

Spectrum *δ*, Taf. XXVI.

Insolation: **15** Minuten { von 8 U. 41 M. / bis 8 U. 56 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Keine Spur von Wirkung, weder sogleich noch später. Die insolirte Stelle bleibt grün; Ordnung und Bewegung in der Zelle völlig erhalten.

F. Nitella mucronata; 18. VIII. 80.; 4 Parallel-Versuche im Grün und Blau.

Versuchsobjecte sind Blattsegmente von Blättern desselben Quirls von gleichen Dimensionen.

Segmente in den ersten 2 Versuchen 2,5 mm lang, 0,12 mm dick

Versuch 16: im Blau.

Blau I., lichtschwach, Spectrum *ι*, Taf. XXVI.

Insolation: $5^1/_2$ Minuten { von 10 U. 24 M. / bis 10 U. $29^1/_2$ M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Wirkung stark. Entfärbung stark, nicht ganz vollständig.

Bewegung sistirt.

Ordnung erhalten.

Später: Bewegung kehrt nicht zurück. Desorganisation beginnt.

Versuch 17: im Grün.

Grün I, lichtschwach, aber lichtstärker als Blau I., Spectrum *ζ*, Taf. XXVI.

Insolation: 8 Minuten { von 10 U. 39 M. / bis 10 U. 47 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Wirkung schwach. Entfärbung schwach, nicht ausgedehnt.

Bewegung erhalten.

Ordnung erhalten.

Später: Bewegung und Ordnung erhalten; die Zelle bleibt leben.

Segmente in den folgenden 2 Versuchen 5,0 mm lang und 0,15 mm dick.

Versuch 18: Im Grün

wieder dasselbe Grün I. wie in Versuch 17.

Insolation: 6 Minuten { von 11 U. 25 M. bis 11 U. 31 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Wirkung gering; Entfärbung schwach.

Bewegung völlig erhalten.

Ordnung erhalten; die Chlorophyllkörper der getroffenen Stelle nehmen Profilstellung an.

Die Zelle bleibt leben.

Versuch 19: Im Blau

wieder dasselbe Blau I. wie im Versuch 16.

Insolation: 6 Minuten { von 11 U. 34 M. bis 11 U. 40 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Wirkung stark; Entfärbung ausgedehnt, vollständig. Bewegung äusserst schwach. Ansammlung unregelmässiger Protoplasmaballen an der insolirten Stelle.

Später: Bewegung völlig sistirt. Beginnende Desorganisation.

Zweite Versuchsreihe: Parallel-Versuche mit concentrirten Sonnenbildern in verschiedenen Gasen.

Die Versuchsobjecte hängen bei diesen Versuchen im Wassertropfen am Deckglase in der Gaskammer, durch welche die Gase geleitet werden. —

A. Spirogyra crassa; 9. X. 78., 4 Parallel-Versuche in atmosphärischer Luft und Wasserstoff.

Versuchsobject in allen 4 Versuchen derselbe im Winkel gebrochene Faden mit einem langen und einem kurzen Schenkel.

Alle 4 Versuche in vollem weissem Licht ohne Einschaltung von farbigen Mitteln. —

Versuch 20: in atmosphärischer Luft.

Im Sonnenbilde liegen Zelle 3 und 4 des langen Schenkels.

Insolation: 4 Minuten { von 9 U. 51 M. bis 9 U. 55 M. } Sonne beständig klar, unbewölkt.

Resultat: Ausgedehnte Wirkung, die sich sogar, wie im weissen Licht öfter, auch auf die nächsten benachbarten Zellen erstreckt (Taf. XI. Fig. 3).

Chlorophyllbänder in den Zellen c d e vollständig; in b und f zum Theil entfärbt.

Centralplasma mit dem Cytoblasten blasig angeschwollen, deplacirt. —

Plasmastränge abgerissen, verschwunden, hier und da Reste derselben mit den entstandenen Protoplasma-Knoten an dem angeschwollenen Centralplasma (Fig. 10 Taf. XI).

Durch die Gaskammer wird nun, ohne sie zu öffnen von 9 Uhr 57 Minuten an ununterbrochen bis nach Beendigung der beiden folgenden Versuche Wasserstoff geleitet.

Versuch 21: In Wasserstoff.

Im Sonnenbilde liegen Zelle 5 und 6 des kurzen Schenkels.

Insolation: 8 Minuten { von 10 U. 4 M. bis 10 U. 12 M. } Sonne beständig klar, unbewölkt.

Resultat: Keine Spur von Wirkung unmittelbar nach der Einwirkung des intensiven weissen Lichtes. —

Chlorophyllbänder in Farbe, Form und Lage erhalten. Anordnung des Zellinhalts; namentlich Centralplasma, Cytoblast und Plasmastränge ungestört. —

Später — nach mehreren Stunden — sind jedoch hier und da geringe Störungen an den insolirten Zellen bemerkbar z. B. entstehende Anschwellungen oder Plasmaknoten an den Plasmasträngen (Fig. 9 Taf. XI.), jedoch ohne weitergehende Störung, namentlich bleibt die Farbe der Bänder und die Anordnung im Zellinhalte vollständig erhalten.

Versuch 22: In Wasserstoff.

Im Sonnenbilde liegen Zelle 20 und 21 des langen Schenkels.

Insolation: 9 Minuten { von 10 U. 16 M. bis 10 U. 25 M. } Sonne beständig klar, unbewölkt.

Resultat[1]): Keine Spur von Wirkung, wie im Versuche 21 zeigt sich unmittelbar nach Einwirkung des concentrirten weissen Sonnenbildes in den insolirten Zellen, Nichts geändert. Farbe, Anordnung etc. erhalten. —

Später, nach mehreren Stunden, zeigen sich widerum, wie dort, geringe Störungen in den Plasmasträngen und auch hier und da an den Auszackungen der Chlorophyllbänder.

Es wird jetzt wieder atmosphärische Luft durch die Gaskammer gezogen.

Versuch 23: In atmosphärischer Luft.

Im Sonnenbilde liegen Zelle 15 + 16 des kurzen Schenkels.

Insolation: 3 Minuten { von 10 U. 27 M. bis 10 U. 30 M. } Sonne beständig klar, unbewölkt.

Resultat: Ausgedehnte Wirkung, wie im Versuche 20, die sich auch auf die Zellen 14 und 17 desselben Schenkels erstreckt. —

Chlorophyllbänder vollständig entfärbt.

Centralplasma mit Cytoblast blasig angeschwollen, deplacirt. —

Plasmastränge zerrissen, verschwunden; Zelle todt.

B. Spirogyra jugalis 12. IX. 79., 2 Parallel-Versuche in atmosphärischer Luft und Wasserstoff.

Versuchsobject in beiden folgenden Versuchen derselbe im Winkel gebrochene Faden mit einem kurzen und einem langen Schenkel.

---

1) In manchen Versuchen zeigen sich auch im Wasserstoff geringe Störungen, wie z. B. in den beiden oben angeführten Versuchen, die ich auch deshalb hier besonders ausgewählt habe. Solche Störungen zeigen sich jedoch nur bei lang andauernder Exposition, oder bei Anwendung von Sonnenbildern, die eine bedeutende Wärme im Wassertropfen entwickeln können, oder auch in Fällen, in welchen die Durchleitung des Wasserstoffes durch die Gaskammer vor Beginn des Versuches nur kurze Zeit — einige Minuten — gewährt hat. Es sind daher diese Störungen theilweise auf Wärmewirkung, theilweise auf noch in der Gaskammer zurückgebliebene Spuren von Sauerstoff zurückzuführen.

Beide Versuche in demselben grünen Sonnenbilde, Grün III. Spectrum 3. Taf. XXVI.

Durch die Gaskammer, in welcher der Faden liegt, wird von 12 Uhr an Wasserstoff geleitet. —

Versuch 24: In Wasserstoff.

Im Sonnenbilde liegen Zelle 6, 7 und 8 des langen Schenkels

Insolation: **20** Minuten { von 12 U. 35 M. bis 12 U. 55 M. } Sonne eine Minute lang während der Exposition von 12 U. 40 M. bis 12 U. 41 M. ein wenig verschleiert; sonst von 12 U. 35 M. bis 12 U. 40 M. und von 12 U. 41 M. bis 12 U. 55 M. beständig klar, unbewölkt.

Resultat: Keine Spur von Wirkung. In allen 3 insolirten Zellen Chlorophyllbänder in Farbe, Form und Lage vollständig erhalten. Anordnung des Zellinhalts, namentlich Centralplasma, Cytoblast, Plasmastränge ungestört.

Körnchenbewegung in den Protoplasmasträngen erhalten.

Auch später — mehrere Stunden nach dem Versuche und am folgenden Tage zeigen sich die insolirten Zellen des Fadens vollständig auch in ihrer Farbe erhalten. —

Um 1 Uhr wird atmosphärische Luft durch die Gaskammer gezogen.

Versuch 25: In atmosphärischer Luft.

Im Sonnenbilde liegen jetzt Zelle 3, 4 und 5 des hurzen Schenkels.

Insolation: **5** Minuten { von 1 U. 5 M. bis 1 U. 10 M. } Sonne klar, unbewölkt.

Resultat: Vollständige Wirkung. Chlorophyllbänder entfärbt; Centralplasma mit Cytoblasten blasig angeschwollen, deplacirt; Plasmastränge geronnen und theils gerissen. Zelle todt.

C. Nitella flexilis. 30. V. 79. (Taf. XIII. Fig. 1). 2 Parallel-Versuche in atmosphärischer Luft und Wasserstoff.

Versuchsobject die beiden Enzellen (a und b) desselben gabligen Fruchtblattes. Beide Versuche im grünen Sonnenbilde, erzeugt durch Einschaltung derselben dicken grünen Glasscheibe über der Linse.

Durch die Gaskammer, in welcher das Präparat liegt, wird ununterbrochen von 11 Uhr 32 Minuten an Wasserstoff geleitet.

Versuch 26: In Wasserstoff.

Das Sonnenbild trifft die Zelle a Fig. 1 Taf. XIII. ungefähr in der Mitte. —

Insolation: **20** Minuten { von 12 U. 15 M. bis 12 U. 35 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Keine Spur von Wirkung. Farbe, Ordnung und Bewegung in der Zelle sind an den insolirten und den nicht insolirten Stellen völlig erhalten. —

Nach dem Versuche wird atmosphärische Luft durch die Gaskammer gezogen.

Versuch 27: In atmosphärischer Luft.

Versuchsobject ist jetzt die Mitte der Schwesterzelle b Fig. 1 Taf. XIII.

Insolation: **7** Minuten { von 12 U. 42 M. bis 12 U. 49 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Kräftige Wirkung: Die insolirte Mitte der Zelle völlig entfärbt; die Bewegung gestört; das Plasma in der Mitte angesammelt. Es entsteht ein in sich geschlossener Kreisstrom unterhalb der getroffenen Stelle der von der Basis der Zelle bis zu der entfärbten Mitte reicht. — Die nicht entfärbten Chlorophyllkörper im oberen Theile fangen später zu quellen an. —

D. Spirogyra crassa. 30. X. 79., 4 Parallel-Versuche in atmosphärischer Luft, in Wasserstoff und in einem Gemenge von Wasserstoff und Kohlensäure.

Versuchsobject in allen 4 folgenden Versuchen derselbe im Winkel gebrochene Faden mit einem kurzen und einem langen Schenkel.

Alle 4 Versuche in demselben grünen Sonnenbilde, erzeugt durch eine Chlorkupferlösung. Grün III. Spectrum 9. Taf. XXVI.

Die Durchleitung von reinem Wasserstoff durch die Gaskammer beginnt von 9 Uhr 30 Minuten und dauert ununterbrochen bis nach dem dritten Versuche (Vers. 30) fort.

Versuch 28: Im reinen Wasserstoff.

Im Sonnenbilde liegen Zelle 18 und 19 des langen Schenkels.

Insolation: **7** Minuten { von 9 U. 35 M. bis 9 U. 42 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Keine Wirkung. Chlorophyllbänder nicht entfärbt, Centralplasma, Cytoblast, Protoplasmastränge völlig ungestört. Alles in Ordnung.

Es wird jetzt ohne Unterbrechung des Wasserstoffstromes zugleich Kohlensäure durch die Gaskammer geleitet.[1])

Versuch 29: In einem Gemenge von Wasserstoff und Kohlensäure; 1 Blase Kohlensäure auf 20 Blasen Wasserstoff.

Im Sonnenbilde liegen Zelle 2 und 3 des langen Schenkels.

Insolation: **7** Minuten { von 9 U. 53 M. bis 10 U. 0 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Keine Wirkung. Chlorophyllbänder nicht entfärbt; Centralplasma, Cytoblast, Protoplasmastränge in normaler unveränderter Beschaffenheit; nur erscheint der Cytoblast ein klein wenig aus der Mitte gerückt. Alles wesentlich in Ordnung.

Versuch 30: In einem Gemenge von Wasserstoff und Kohlensäure; 1 Blase Kohlensäure auf 10 Blasen Wasserstoff.

Im Sonnenbilde liegen jetzt Zelle 13 und 14 des kurzen Schenkels.

Insolation: **10** Minuten { von 10 U. 3 M. bis 10 U. 13 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Keine Wirkung. Chlorophyllbänder nicht entfärbt, vollständig unverändert. Centralplasma, Cytoblast, Protoplasmastränge völlig unverändert in Beschaffenheit und Lage. Alles in Ordnung.

Es wird nun der Strom des Gasgemenges unterbrochen und einmal gewöhnliche atmosphärische Luft durch die Gaskammer gezogen.

---

1) Die Zuleitung der Gase erfolgte durch ein zweiarmiges, mit Hähnen versehenes Glasrohr und die Zufuhr eines jeden Gases konnte durch den Druck desselben und die Stellung der Hähne beliebig regulirt werden.

Versuch 31: In atmosphärischer Luft.

Im Sonnenbilde liegen Zelle 3 und 4 des kurzen Schenkels.

Insolation: **7** Minuten { von 10 U. 15 M. bis 10 U. 22 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Kräftige Wirkung, wie immer in atmosphärischer Luft.

Chlorophyllbänder entfärbt, aber in Lage, Form und Randbildung noch erhalten. —

Centralplasma mit dem Cytoblasten aufgeblasen, losgerissen und deplacirt.

Protoplasmastränge zerrissen, theils zerstört etc.

E. Nitella mucronata. 14. VII. 80., 5 Parallel-Versuche in atmosphärischer Luft und Wasserstoff bei blauen und grünen Sonnenbildern.

Versuchsobjecte in allen folgenden 4 Versuchen waren morphologisch gleichwerthige Blattsegmente ein und desselben in der Gaskammer am Wassertropfen hängenden Präparates von nahezu gleichen Dimensionen; 4 bis 5 mm lang und $\frac{17-18}{96}$ mm dick.

Versuch 32: In atmosphärischer Luft und Blau

Blau II. Spectrum *x*, Taf. XXVI.

Insolation: **10** Minuten { von 11 U. 56 M. bis 12 U. 6 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Enorme Wirkung, ausgedehnte und vollständige Entfärbung der insolirten Stelle; Sistirung der Bewegung für immer. Zusammenfallen des Plasmaschlauches. Zerstörung im strömenden Plasma. Quellung der nicht insolirten und demgemäss auch nicht entfärbten Chlorophyllkörper längs der ganzen Zelle. —

Es beginnt nun Durchleitung von Wasserstoff durch die Gaskammer um 12 Uhr 11 Minuten. —

Versuch 33: In Wasserstoff und Blau

Blau II. Spectrum *x*, Taf. XXVI.

Insolation: **13** Minuten { von 12 U. 39 M. bis 12 U. 52 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Keine Spur von Wirkung. Chlorophyll an der insolirten Stelle erhalten; Strömung und Ordnung in der ganzen Zelle völlig normal und unverändert. —

Es wird jetzt wieder Luft durch die Gaskammer gezogen.

Versuch 34: In atmosphärischer Luft und Grün.

Das Spectrum dieses grünen Sonnenbildes, durch eine hellere Chlorkupferlösung erzeugt, war noch breiter als Grün III. Taf. XXVI. Es reichte etwa von Wellenlänge 0,00059 bis 0,00044.

Insolation: **7** Minuten { von 1 U. 38 M. bis 1 U. 45 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Kräftige Wirkung. Chlorophyllkörper der insolirten Stelle entfärbt. Bewegung in der ganzen Zelle sistirt. Plasmaansammlungen an der insolirten Stelle. Ordnung an der Wand und in den Chlorophyllreihen noch erhalten.

Nach einigen Stunden tritt Desorganisation und Zusammenfallen des Plasmaschlauches ein. Die Zelle ist todt.

Es wird nun Wasserstoff von 1 Uhr 47 Minuten an durch die Gaskammer ununterbrochen bis zu Ende des fünften Versuches (Vers. 36) durchgeleitet.

Versuch 35: In Wasserstoff und demselben grünen Sonnenbilde, wie im Versuche 34.

Insolation: **12** Minuten { von 2 U. 20 M. bis 2 U. 32 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Keine Spur von Wirkung, weder sogleich noch später. — Chlorophyll erhalten, Strömung erhalten; Ordnung erhalten. — Zelle vollkommen intact.

Versuch 36: In Wasserstoff und demselben grünen Sonnenbilde wie in Versuch 34 und 35.

Insolation: **20** Minuten { von 2 U. 36 M. bis 2 U. 56 M. } Sonne beständig, ganz klar und unbewölkt.

Resultat: Keine Spur von Wirkung, weder sogleich noch später, auch keine thermische Wirkung. Chlorophyll erhalten, Bewegung erhalten; Ordnung erhalten. Zelle vollkommen intact.

F. Nitella, Spirogyra und Oedogonium, 17. VI. 79., 4 Versuche in kohlensäurefreier Luft. Die Versuchsobjecte

im Wassertropfen am Deckglase der Gaskammer lagen in den folgenden 4 Versuchen so nebeneinander, dass in mehreren Versuchen zugleich ein Stück eines Nitella-Schlauches und einer Spirogyra- oder Oedogonium-Zelle im Sonnenbilde lagen.

Die Durchleitung der von Kohlensäure befreiten Luft durch die Gaskammer begann gegen 12 Uhr, etwa eine Stunde vor Beginn des ersten Versuches. Die Luft wurde in einem continuirlichen Strom von einzelnen Luftblasen durch drei mit einander verkoppelte Kaliapparate unmittelbar in die hinter diesen mit kurzem Gummischlauch verbundene Gaskammer gedrückt.

Es wurden 4 unmittelbar hintereinander folgende Versuche mit verschiedenen Zellen angestellt,

Versuch 37: Nitella und Spirogyra. Im Blau

Blau II. Spectrum *z*, Taf. XXVI.

Insolation: $6^1/_2$ Minuten { von 12 U. $53^1/_2$ M. / bis 1 U. 0 M. } Sonne beständig klar.

Versuch 38: Nitella und Spirogyra spec. Im Blau

Farbe erzeugt durch ein blaues Glas.

Insolation: 7 Minuten { von 1 U. 4 M. / bis 1 U. 11 M. } Sonne beständig klar.

Versuch 39: Nitella und Oedogonium spec. Im Grün

Farbe erzeugt durch ein grünes Glas.

Insolation: 7 Minuten { von 1 U. 16 M. / bis 1 U. 23 M. } Sonne beständig klar.

Versuch 40: Nitella und Spirogyra spec. Im Grün

Grün III. Taf. XXVI.

Insolation: $8^1/_2$ Minuten { von 1 U. 35 M. / bis 1 U. $43^1/_2$ M. } Sonne beständig klar.

Resultat: In allen 4 Versuchen trat ausgedehnte und vollständige Wirkung ein, wie in gewöhnlicher atmosphärischer Luft. Entfärbung der insolirten Stelle. Grössere oder geringere Zerstörungen im Protoplasma; Dislocation des Cytoblasten bei Spirogyra und Zerreissen der Plasmastränge. Vorübergehende oder bleibende Sistirung der Bewegung und Desorganisation in den Nitella-Zellen. —

Bei Beginn des Versuches 40 war bereits etwa 95 Minuten lang ein ununterbrochener Strom von kohlensäurefreier Luft durch die Gaskammer getreten.

G. Mesocarpus scalaris; 26. VI. 80., 5 Parallel-Versuche, 3 in atmosphärischer Luft und 2 in Wasserstoff.

Versuchsobjecte bilden einzelne im Wassertropfen liegende Fäden, die nach zufälligen Merkmalen wieder erkennbar sind. Im Sonnenbilde liegen immer 2—4 Zellen eines geraden Fadenstückes, etwa wie Fig. 5 Taf. XV.

Versuch 41: In atmosphärischer Luft und im Blau

Blau II., Spectrum *z*, Taf. XXVI.

Insolation: 3 Minuten { von 10 U. 21 M. / bis 10 U. 24 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Starke Wirkung. Die insolirten Zellen entfärbt, todt (a b Fig. 10 Taf. XV.). Der vorher gerade Faden bricht an der insolirten Stelle, indem die insolirten Zellen (a b) sich aus dem Verbande des Fadens und auch unter einander lösen. Die Gerbstoffbläschen in ihnen verschwinden bis auf ihre Umrisse, durch welche die in ihrer Länge contrahirte Chlorophyllplatte einen schaumigen Charakter gewinnt.

Versuch 42: In atmosphärischer Luft und Grün

Grün III., Spectrum *ϑ*, Taf. XXVI.

Insolation: 3 Minuten { von 10 U. 35 M. / bis 10 U. 38 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Starke Wirkung ungefähr wie im Blau. — Chlorophyllplatte entfärbt; später löst sich auch hier der Zellverband gewöhnlich und die Gerbstoffbläschen, unmittelbar nach dem Versuch noch vorhanden, verschwinden gleichfalls sehr bald. Zelle todt.

Versuch 43: In atmosphärischer Luft und Roth

Roth II, Spectrum *δ*, Taf. XXVI.

Insolation: 5 Minuten { von 11 U. 2 M. / bis 11 U. 7 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Starke Wirkung (vielleicht aber rein thermische?) Chlorophyll in den insolirten Zellen a. b. c. d. vollständig erhalten (Fig. 11 Taf. XV.); sonst: Chlorophyllplatte stark contrahirt in den insolirten Zellen a. b. c. d. Gerbstoffbläschen verschwinden schnell. Ihre Umrisse bilden mit der zusammengefallenen Hautschicht ein schau-

miges Netz um die contrahirte grüne Platte. Zelle todt.[1])

Versuch 44 u. 45: In Wasserstoff und Grün

Grün III, Spectrum 3, Taf. XXVI.

Diese beiden Versuche mit einem Mesocarpus-Faden in der Gas kammer, durch welche ununterbrochen von 11 Uhr 27 Minuten an Wasserstoff geleitet wurde.

Versuch 44.

Insolation: **10** Minuten { von 12 U. 8 M. bis 12 U. 18 M. } Sonne beständig klar.

Versuch 45.

Insolation: **12** Minuten { von 12 U. 25 M. bis 12 U. 37 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: In beiden Versuchen übereinstimmend, unmittelbar nach dem Versuche: Keine Wirkung.

Zellverband, Chlorophyll, Gerbstoffbläschen, Ordnung } bleiben völlig erhalten; die Zelle erscheint normal.

Später aber zeigt sich in den Zellen des Versuches 45 eine geringe Störung, etwa wie im rothen Licht. Chlorophyll bleibt völlig erhalten, aber Zellverband löst sich und Gerbstoffbläschen verschwinden, während die Zellen des Versuches 44 auch später vollkommen normal und intact bleiben.

H. Tradescantia Sellowi, 8. V. 79. In atmosphärischer Luft.

Versuchsobjecte bilden die ins Sonnenbild gebrachten Zellen der Filamenthaare. Sie liegen im Wassertropfen und unter Deckglas.

---

1) Der Unterschied zwischen der Wirkung der rothen einerseits und anderseits der blauen und grünen Sonnenbilder ist bei Mesocarpus ein bedeutender und auffallender.

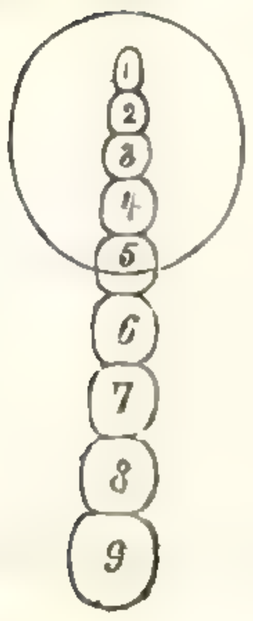
Im rothen Licht wird die Zelle rasch getödtet, der Zellverband gelöst, die Chlorophyllplatte stark contrahirt und die Gerbstoffbläschen verschwinden, aber der Chlorophyllfarbstoff bleibt intact bestehen (thermischer? Tod).

Im blauen und grünen wird die Zelle auch rasch getödtet; der Chlorophyllfarbstoff wird sofort zerstört; der Zellverband löst sich erst später und ebenso verschwinden die Gerbstoffbläschen erst später (chemischer? Tod).

Versuch 46: Im Grün

Grün II. Im Sonnenbilde liegen die Zellen 1, 2, 3, 4, 5. (Fig. A.)

Insolation: **22** Minuten { von 12 U. 41 M. bis 1 U. 3 M. } Sonne beständig klar.



Resultat:	Unmittelbar nach dem Versuche: Lichtstarre.	Später: wieder normal.
A Zelle 1	Bewegung sistirt aber Ordnung erhalten.	Zelle 1 Bewegung zurückgekehrt, lebhaft.
2		2
3		3
4		4
5	Beweg. schwach	5 Beweg. zurückgekehrt, lebhaft
6	Ordn. erhalten	6
7	Bewegung lebhaft. Ordnung erhalten.	7 Beweg. lebhaft
8		8
9		9

---

1. Tradescantia virginica; 19. VII. 80., 5 Parallel-Versuche, 2 in Wasserstoff und 3 in atmospärischer Luft.

Versuchsobjecte bilden die ins Sonnenbild gebrachten Zellen der Filamenthaare. [1]) Sie liegen in der Gaskammer hängend und unbedeckt im Wassertropfen des Deckglases.

---

1) Die blauen und farblosen Zellen der Filamenthaare der Tradescantien sind schon an und für sich als nicht grüne Zellen im Lichte verhältnissmässig nicht leicht zerstörbar. In lichtschwachen farbigen Sonnenbildern oft selbst in 18—20 Minuten nicht. Ausserdem sind sie Luftorgane und demgemäss, wie alle dem Aufenthalt in atmosphärischer Luft angepasste Pflanzenorgane, nicht geeignet, unter Wasser zu athmen. Die Luftorgane der Landpflanzen sind eben, wie aus meinen Versuchen zur Evidenz hervorgeht, nur in geringem Grade befähigt, sich den Sauerstoff aus lufthaltigem Wasser anzueignen. Sie verhalten sich unter Wasser, auch unter lufthaltigem Wasser, fast so wie im sauerstofffreien Raume. Es gelingt daher unter Wasser nur schwer, diese Zellen im Lichte zu tödten, d. h. man braucht unter Wasser zu ihrer Zerstörung im Lichte unter gleichen Verhältnissen eine bedeutend längere Zeit als bei grünen Zellen von Wasserpflanzen. Die längere Dauer der Versuche kann aber hier wieder wegen der gleichzeitigen unvermeidlichen Wärmewirkungen die Resultate zweideutig erscheinen lassen. Der Erfolg wird nun schneller erreicht und lässt sich besser übersehen, wenn dafür Sorge getragen wird, dass die Haare nicht ganz vom Wasser bedeckt unter Deckglas liegen, sondern wenigstens einseitig mit der Luft in Berührung bleiben. Es treten dann die Differenzen der Wirkung in den verschiedenen Farben und in sauerstoffhaltigen und sauerstofffreien Gasen ebenso deutlich wie an den grünen Zellen der Wasserpflanzen hervor.

Versuch 47. Im Blau (Blau II., Taf. XXVI.) und atmosphärischer Luft.

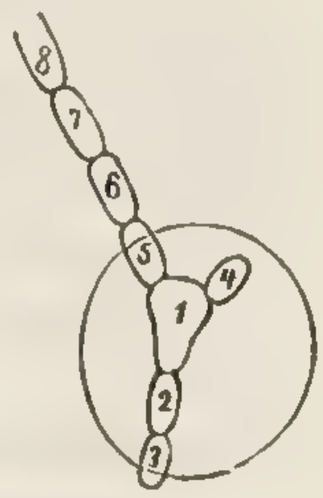
Im Sonnenbilde liegt das verzweigte Ende [1]) eines Haares mit den Zellen 1, 2, 3, 4, 5. (Fig. B.)

Insolation: **15** Minuten { von 10 U. 15 M. bis 10 U. 30 M. } Sonne beständig klar.

Resultat:

Sogleich nach dem Versuche: Wirkung schwach.		Später: Wirkung stark.	
Zelle 1		Zelle 1	Farbe zerstört.
2	Farbe erhalten	2	Die Zellen sind
3	Bewegung sistirt	3	violett geworden. Plasma-
4	Ordnung er-	4	stränge geron-
5	halten.	5	nen od. gerissen. Zellen todt.
6	Farbe erhalten.	6	Farbe erhalten.
7	Ordnung erhalten.	7	Ordn. erhalten.
8	Beweg. lebhaft.	8	Beweg. lebhaft.

B



Versuch 48: Im Weiss und atmosphärischer Luft.

Im Sonnenbilde liegen die Zellen r, s, t und v, w, x, y der beiden Haare a und b Fig. 2 Taf. XV. und ein gelbes Pollenkorn.

Insolation: **5** Minuten { von 12 U. 39 M. bis 12 U. 44 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Sogleich Wirkung stark. Die insolirten Zellen r, s, t, v, w, x, y sind violett geworden und verlieren später ihre Farbe völlig; Protoplasmastränge geronnen, bewegungslos oder gerissen.

Später (Fig. 3 Taf. XV.) Zellinhalt ganz zusammengefallen. Zellen todt.

Das gelbe Pollenkorn behält seine Farbe.

Es wird jetzt von 1 Uhr an ununterbrochen Wasserstoff durch die Gaskammer geleitet.

---

[1]) Um sich bei den Filamenthaaren der Tradescantien das Präpariren derselben für den Versuch zu erleichtern und die Wiedererkennung der insolirten Zellen bei den Versuchen im Wasserstoff zu sichern, ist es gut, die sehr charakteristischen und leicht wiedererkennbaren verzweigten Haare, die sich bei Tr. virginica in vielen Blüthen finden, zum Experiment zu wählen.

Versuch 49: Im Weiss und Wasserstoff.

Im Sonnenbilde liegt das verzweigte Ende eines Filamenthaares mit den Zellen a. b. c. d. e. (Fig. 1 Taf. XV.)

Insolation: **14** Minuten { von 11 U. 24 M. bis 11 U. 38 M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Keine Wirkung. Farbe, Ordnung und Beschaffenheit der Plasmastränge in den Zellen erhalten; nur die Bewegung in denselben ist vorübergehend sistirt; kommt aber nach einiger Zeit wieder. — (Fig. 1 Taf. XV. ist 24 Stunden nach der Einwirkung des concentrirten weissen Lichtes gezeichnet.)

Versuch 50: Im Weiss und Wasserstoff.

Im Sonnenbilde liegen wieder die mittleren Zellen 5, 6, 7 eines Filamenthaares.

Insolation: **15** Minuten { von 1 U. 45 M. bis 2 U. — M. } Sonne beständig klar.

Resultat: Keine Wirkung. Farbe und Ordnung der Zelle erhalten, nur die Bewegung ist wieder in den insolirten Zellen 5, 6, 7 vorübergehend sistirt; kehrt aber gleichfalls nach einiger Zeit wieder. Noch nach 24 Stunden sind in dem Präparate sämmtliche Zellen des Versuchshaares, auch die insolirten Zellen 5, 6, 7 vollkommen intact. Farbe blau; Ordnung und Plasmastränge normal; Bewegung deutlich und lebhaft.

Es wird jetzt wieder atmosphärische Luft durch die Gaskammer gezogen.

Versuch 51: Im Weiss und atmosphärischer Luft.

Im Sonnenbilde liegen e, f, g und die Enden von d und h des Filamenthaares Fig. 4 Taf. 15.

Insolation: **10** Minuten { von 2 U. 20 M. bis 2 U. 30 M. } Sonne beständig klar.

Resulat: Sogleich sehr starke Wirkung.

Zelle a, b { Farbe blau. Ordnung erhalten.

Zelle c, d { Farbe violett. Ordnung gestört. Bewegung sistirt, Zelle todt.

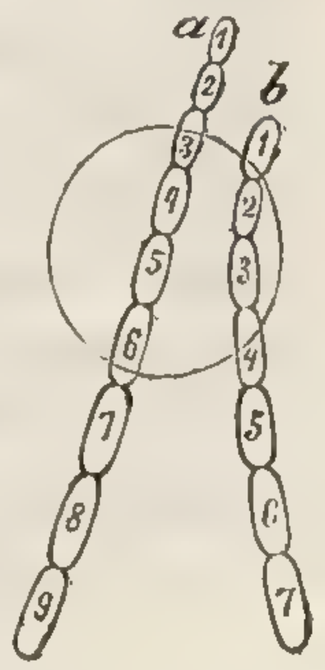
Zelle	e, f, g	Farbe nahezu völlig erblasst. Ordnung gestört. Plasmastränge geronnen, zerrissen. Zellen todt.
	h	Farbe violett. Inhalt zusammengefallen. Zelle todt.
	i, k	Farbe blau. Ordnung und Bewegung vollständig erhalten.

NB. Die Wirkung hat sich hier, wie dies öfter im weissen Lichte, wo bedeutende Zerstreuungskreise vorhanden sind, der Fall ist, über die Grenze des Sonnenbildes hinaus erstreckt.

Versuch 52: In Weiss und atmosphärischer Luft.

Im Sonnenbilde liegen die Zellen 3, 4, 5, 6 des Haares a und die Zellen 2, 3 des Haares b. (Fig. C.)

C



Insolation: 5 Minuten — von 2 U. 50 M. bis 2 U. 55 M. — Sonne beständig klar.

			Später um 4 Uhr.
Haar a	Zelle 1, 2	blau, Bewegung da.	blau. Bewegung, Ordnung erhalten.
	3, 4, 5, 6	violett. Plasmastränge erstarrt. Bewegung sistirt.	entfärbt. Zellen todt.
	7	blau. Beweg. sistirt.	blau. Ordnung erhalten. Bewegung lebhaft.
	8, 9	blau. Bewegung da.	
Haar b	Zelle 1	blau. Beweg. sistirt.	entfärbt. Plasma theilweise zerstört. Zellen todt.
	2, 3	violett. Plasmastränge zerrissen.	
	4	blau. Beweg. sistirt.	
	5, 6	blau. Ordnung und Bewegung erhalten.	blau. Ordnung erhalten. Bewegung lebhaft.

Erklärung der Abbildungen.

Taf. XI. Lichtwirkung auf Pflanzenzellen.

Die farblosen Stellen der Objecte lagen einige Minuten (3—8) im concentrirten Sonnenbilde.

Fig. 1. Spirogyra jug. — h i k Cytoblasten mit Centralplasma und Plasmaknoten der Zellen c d e nach erfolgter Lichtwirkung.

Fig. 2. Spirog. quinina. Lichtwirkung in c und d noch nicht ganz vollendet.

Fig. 3. Spirog. crassa. Die Zellen b und f lagen nicht mehr vollständig im Sonnenbilde.

Fig. 4. Blattzelle von Mnium. a b, Chlorophyllkörner aus derselben mit Jod behandelt.

Fig. 5. Blattzelle von Mnium nach der Lichtwirkung; a b Chlorophyllkörper aus derselben mit Jod behandelt.

Fig. 6. Insolirte Zelle von Spirog. crassa stark vergrössert. Versuch 20.

Fig. 7 und 8. Zelle a und g der Fig. 3 stärker vergrössert.

Fig. 9 und 10. Cytoblasten mit Plasmasträngen und Plasmaknoten aus insolirten Zellen von Spirogyra crassa.

Fig. 11. Fruchtblatt von Nitella flexilis. Die beiden Segmente a und b insolirt; a im gelben, b im blauen Licht.

Die punktirten Kreise deuten den Umkreis des wirkenden Sonnenbildes an.

Fig. 12. Insolirte Stelle a Fig. 11 stärker vergrössert.

Taf. XII. Lichtwirkung auf Pflanzenzellen.

Die farblosen Stellen der Objecte lagen einige Minuten im concentrirten Sonnenbilde.

Die punktirten Kreise deuten den Umkreis des Sonnenbildes an.

Fig. 1. Oedogonium grande. $2^1/_2$ Zellen insolirt.

Fig. 2. Nitella, 2 Endsegmente eines Blattes, jedes etwa in der Mitte insolirt.

Fig. 3. Insolirte Stelle aus b Fig. 2 stärker vergrössert, S. 357 u. 364.

Fig. 4. Zwei Endsegmente eines Blattes, jedes etwa in der Mitte insolirt — bei b fehlt der Sonnenkreis — b im rothen Lichte; a im grünen Lichte, vgl. S. 237 und Versuch 10 u. 11.

Fig. 5. Insolirtes Stück aus a Fig. 4 vergl. S. 334, 348 u. 413. Die kleinen und grossen im Strome schwimmenden hellen Blassen mit einem oder zwei dunklen Nabelpunkten an der Peripherie sind noch unbekannte Bildungen im Inhalte des Schlauches.

Fig. 6 und 7. Chlorophyllkörper von insolirten Stellen der Nitella-Schläuche stark vergrössert.

Fig. 8. Durch Licht entfärbte Chlorophyllkörper aus Nitella, theils mit Stärkeeinschlüssen, sehr stark vergrössert.

Taf. XIII. Lichtwirkung im Wasserstoff; auf das wandständige Protoplasma; den Turgor der Zelle. Verhalten der Stärke im Licht. Hypochlorinbildungen bei Cladophora.

Fig. 1. Endsegmente eines Fruchtknotens von Nitella flexilis, jedes etwa in der Mitte insolirt (Versuche 26 und 27 der Beilage). b 7 Minuten im grünen Sonnenbilde und in Luft. a 20 Minuten im grünen Sonnenbilde und in Wasserstoff.

Fig. 2, 3, 4. Insolirte Spirogyra-Fäden derselben Species.
Fig. 2 gleich nach der Insolation.
Fig. 3 } Nach der Insolation noch mit Jod behandelt; in beiden
Fig. 4 } Fäden waren die Zellen c und d die insolirten

Fig. 5 und 6. Hypochlorin-Ausscheidungen von Cladophora etwa 8 Tage in Salzsäure (1 : 4).

Fig. 7. Isolirte Hypochlorin-Stäbchen und -Nadeln aus der Cladophora.

Fig. 8. Faden von Spirog. jug. mit 2 insolirten Zellen und zwar Zelle c vollständig, d zur Hälfte etwa bis in die Nähe des Zellkerns im Sonnenbilde insolirt und darauf mit Aninblau behandelt, vergl. S. 362. An dem Rande der Windungen der Zelle d, die bereits ausserhalb des Sonnenbildes lagen, sieht man ausquellende Oel-Vacuolen. f, Cytoblablast aus c.

Fig. 9. Faden von Spirog. jug. die Zellen a b c d einige Minuten insolirt; darauf der ganze Faden mit Jod in Jodkalium behandelt und das überflüssige Jod ausgewaschen, vergl. S. 358 u. 363.

Fig. 10. Insolirter Faden von Spirog. quinina. Im Sonnenbilde lag Zelle d ganz und das angrenzende Stück der Zelle c. Darauf der ganze Faden mit Jod und Jodkalium behandelt; vrgl. S. 358 u. 363.

Fig. 11 und 12. Insolirte und nicht insolirte Windung aus einer Spirogyra-Zelle mit Jod behandelt, stärker vergrössert.

Fig. 13. Erwärmte Windung von Spirogyra crassa mit den Oel-Vacuolen neben den Amylumheerden; vergl. S. 306. Die Farbe der Windung fehlt aus Versehen.

Fig. 14. Stück aus der Zelle c der Fig. 8 stärker vergrössert.

Taf. XIV. Lichtwirkung auf Hypochlorin.

Fig. 1. Faden eines Oedogonium. Die Zellen b c d insolirt, nachher der ganze Faden mit Salzsäure; in den Zellen b c d fehlt das Hypochlorin.

Fig. 2. Endstück eines Fadens von Spirog. crassa. Die Endzelle d lag einige Minuten im Sonnenbilde, die Zelle e nicht, der Sonnenkreis schnitt an der Grenze von d und e ab. Nachher wurde der Faden mit Salzsäure behandelt. Zelle e hat Hypochlorin, Zelle d hat keines.

Fig. 3. Faden von Spirog. jug. Zellen a b c d dem Sonnenbilde ausgesetzt, nachher der Faden mit Salzsäure behandelt. Die Zellen b c haben kein Hypochlorin, die Zellen a und d nur in den Windungen, die schon ausserhalb des Sonnenkreises lagen. Einige dieser letzteren Windungen sind noch grün, haben aber kein Hypochlorin mehr; vergl. S. 360.

Fig. 4. Zwei insolirte Zellen von Spirog. jug. mit Salzsäure behandelt und stärker vergrössert; daneben e der zugehörige Cytoblast.

Fig. 5. Insolirtes Fadenstück von Spirog. jug. Die Zellen c und d lagen ganz, die Zelle b nur zur Hälfte im Sonnenbilde. Die Insolation dauerte nur sehr kurze Zeit; nachher wurde der Faden mit Salzsäure behandelt. Die nicht insolirten Zellen hatten Hypochlorin wie immer; die Windungen der insolirten Zellen waren noch deutlich bis stark grün, hatten aber kein Hypochlorin mehr; nur die Endwindungen der Zelle b, die nicht mehr im Sonnenbilde gelegen hatten, besassen noch Hypochlorin — vergl. S. 361.

Fig. 6 bis 9. Zellen aus dem Mesophyll von Vallisneria spiralis.

Fig. 6 frisch; Fig. 7. Zelle nach 12stündiger Behandlung mit Salzsäure; Fig. 8 Zellen nach 24stündiger Behandlung mit Salzsäure, in der einen Zelle fehlt das Hypochlorin, vgl. S. 301 u. 311; Fig. 9. Zellen nach 6tägiger Behandlung mit Salzsäure; — in allen sind jetzt die Hypochlorinnadeln an mehreren Chlorophyllkörpern entstanden.

Fig. 10. Gewebe aus dem Mesophyll von Vallisneria spiralis, dessen innere Partie (b—b) dem Sonnenbilde ausgesetzt war; die Partie c wurde noch vom Sonnenrand getroffen. Nachher wurde das Gewebe mit Salzsäure behandelt. In den insolirten Zellen fehlte das Hypochlorin, auch dort, wo das Chlorophyll noch nicht zerstört war; vergl. S. 361.

Taf. XV. Lichtwirkung auf nicht grüne Pfanzenzellen und Gerbstoffbläschen.

Fig. 1—4. Filamenthaare von Tradescantia virginica S. 335. Versuche 48—50.

Fig. 1. Die Zellen a b c d e waren 14 Minuten lang im Wasserstoff dem weissen Sonnenbilde ausgesetzt, dessen Umkreis die punktirte Linie anzeigt.

Fig. 2 u. 3. Die nahezu ganz entfärbten und getödteten Zellen r s t und v w x y der insolirten Haare waren 5 Minuten lang in atmosphärischer Luft dem weissen Sonnenbilde im Umkreise der punktirten Linie ausgesetzt. p ein gelbes Pollenkorn der Pflanze, dessen Farbe im intensiven Lichte nicht zerstört wird.

Fig. 4. Ein 10 Minuten lang im concentrirten weissen Sonnenbilde in atmosphärischer Luft insolirtes Haar. Versuch 51.

Fig. 5—11. Mesocarpus scalaris Seite 354, 355, 358, 368.

Fig. 5. Stück eines Fadens mit den Gerbstoffbläschen im frischen natürlichen Zustande.

Fig. 6. Eine Zelle stärker vergrössert.

Fig. 7. Eine Zelle mit Eisenchloridlösung behandelt.

Fig. 8. Eine Zelle mit Millon's Reagenz behandelt, welches zum Nachweis von Gerbstoff, wie andere Metallsalze auch, gleichfalls sehr gut brauchbar ist.

Fig. 9. Gerbstoffbläschen aus Fig. 8 noch stärker vergrössert.

Fig. 10 u. 11. Stücke von Mesocarpus-Fäden im intensiven Licht. Verhalten der Gerbstoffbläschen; Loslösung der insolirten Zellen aus dem Verbande der übrigen. Seite 359, 368; Versuche 41, 43.

Fig. 10 im blauen Licht.

Fig. 11 im rothen Licht.

Taf. XVI. Hypochlorin-Bildungen in Oedogonien-Arten (S. 294—300).

Fig. 1. Fäden kurz — einige Stunden — nach Behandlung mit Salzsäure.

Fig. 2—4. Längere Zeit — einige Tage bis mehrere Wochen — nach Behandlung mit der Säure.

Flg. 5—12. Aus den Zellen herauspräparirte Stäbchen; Nadeln und krystallinische Schuppen (Fig. 12) von Hypochlorin stürker vergrössert.

Fig. 5, 10, 11 schon theilweise oder ganz entfärbt.

Taf. XVII. Verhalten von Stärke und Fett im intensiven Licht bei Spirogyren und Hypochlorinbildungen bei Mesocarpus und Spirogyra Weberi.

Fig. 1. Stück eines Fadens von Mesocarpus scalaris 24 Stunden in Salzsäure. Dieser Faden war vor der Behandlung mit Salzsäure 3 Tage lang in völliger Dunkelheit gehalten worden, als Beweis, dass das Hypochlorin im Finstern nicht verschwindet. Die nicht verfinsterten Fäden verhalten sich ebenso.

Fig. 2 u. 3. Stücke von zarten Spirogyra-Arten 2 Tage in Salzsäure.

Fig. 4 u. 5. Spirogyra Weberi photochemisch im concentrirten Sonnenlichte getödtete Zellen, dann mit Jod in Jodkalium behandelt; in Fig. 4 wurde endlich das überflüssige Jod wieder ausgewaschen.

Die Stärke in den Amylumheerden und die Fetttropfen am Rande der Bänder sind vollständig erhalten. Seite 358 und 359.

Taf. XVIII. Hypochlorinbildungen in Spirogyren.

Fig. 1. 28 Stunden nach Behandlung mit Salzsäure, Hypochlorinbildungen mehr in Form gewundener Stäbchen.

Fig. 2. 6 Tage nach Behandlung in Salzsäure. Hypochlorinbildungen mehr in Form von spitzigen Nadeln.

Fig. 3. 8 Tage in Salzsäure gelegen.

Fig. 4 und 5. Aus den Zellen herauspräparirte Nester von Hypochlorin-Stäbchen und Nadeln.

Taf. XIX. Hypochlorin-Ausscheidungen bei Phanerogamen nach 24stündiger Behandlung der Gewebe mit Salzsäure.

Fig. 1 u. 2 von Taxus barcata; Fig. 2 frei aus den Zellen herauspräparirte Chlorophyllkörper mit den Hypochlorin-Ausscheidungen.

Ftg. 3 von Callitriche.

Fig. 4 von Heliconia farinosa.

Fig. 5 von Tilia Europaea.

Fig. 6 von Ampelopsis quinquefolia.

Taf. XX. Hypochlorin-Bildungen; Tropfen, Fäden, Stäbchchen und Nadeln von verschiedenen Pfanzen.

Fig. 1 und 2. Selaginella spec. 5 Monate in Salzsäure (1 : 4), schon nach 1 bis 2 Tagen sind die Fäden oft da.

Fig. 3. Aus dem Mesophyll von Musa rosacea 6 Monate in Salzsäure (1 : 4).

Fig. 4. Blattzelle von Elodea canadensis 5 Monate in Salzsäure (1 : 4).

Fig. 5. Zellen von Ulothrix in Zoosporen-Theilung 4 Wochen in Salzsäure (1 : 4).

Fig. 6 und 7. Zellen aus dem Stamm und den Aesten einer Draparnaldia 4 Wochen in Salzsäure (1 : 4).

Fig. 8 Aus dem Blattgewebe einer Begonia 5 Monate in Salrsäure (1 . 4).

Fig. 9. Aus dem Blattgewebe von Zostera marina, 24 Stunden in Salzsäure (1 : 4) gelegen, dann 11 Monate im Präparat im Wasser.

Fig. 10. Aus dem Blattgewebe vom Epheu, 5 Monate in Sälzsäure (1 : 4).

Taf. XXI. Hypochlorin-Bildungen bei Chara und Nitella. Verhalten zum Entwickelungsalter der Chlorophyllkörper.

Fig. 1 und 2. Stücke einer Bractee von Chara fragilis, 8 Tage in Salzsäure (1 : 4).

Fig. 3. Herauspräparirte Hypochlorinstäbchen, die bereits entfärbt sind.

Fig. 4 bis 9. Nitella flexilis. Entwickelungsverhältniss des Hypochlorins in verschiedenen Alterszuständen der Chlorophyllkörper.

Fig. 4c jugendliche Chlorophyllkörper aus einer Bractee entsprechend dem Entwickelungsalter 4a und 4b.

Fig. 5b, Fig. 6b } etwas ältere Chlorophyllkörper aus noch wachsenden Bracteen entsprechend dem Entwickelungsalter 5a und 6a.

Fig. 7. Chlorophyllkörper aus der erwachsenen Bractee, die schon deutliche Stärkeeinschlüsse enthalten.

Fig. 8. Chlorophyllkörper aus einer alten Bractee, deren Chlorophyllkörper bereits fast völlig mit Stärkeeinschlüssen erfüllt sind.

Fig. 9. Chlorophyllkörper aus einem alten Internodium, voll von Stärkekörnern.

Sämmtliche Vergleichszellen wurden in derselben Weise 24 Stunden mit Salzsäure behandelt und gehörten demselben Sprosse an. — Im Ganzen und Grossen ergiebt sich deutlich eine Verminderung der Hypochlorinmenge im Alter des Chlorophyllkörpers während der Ansammlung und Vermehrung ihres Stärkegehalts.

Taf. XXII. Hypochlorin bei Spirogyra und in Haarzellen. Verhalten zum Entwickelungsalter der Bänder bei Spirogyren.

Fig. 1. Oel-Vacuolen bei Spirogyra durch Erwärmung erkennbar. S. 306.

Frg. 2, 3, 4, 5. Hypochlorinbildung in Spirogyren in verschiedenem Alter der Zelle. In den älteren Zellen tritt mit der vergrösserten Ausbildung der Amylumheerde und dem Anwachsen der Stärkemenge in ihnen die Hypochlorinmenge offenbar zurück.

Fig. 6. Haar-Zelle von Cucurbita einen Tag in Salzsäure; mit schlecht ausgebildeten Chlorophyllkörpern, die aber deutlich Hypochlorin enthalten.

Taf. XXIII. Hypochlorin in Keimpflanzen; in abnorm veränderten Zellen. Verhalten von Fett und Stärke im intensiven Licht.

Fig. 1. Spirogyra mit etwas verändertem Zustande der Bänder 24 Stunden in Salzsäure. Das Hypochlorin ist in allen Zellen, deren Spiralbänder auch nur wenig gelitten haben, verschwunden; nur in den 2 mittleren Zellen ist es noch vorhanden. S. 310.

Fig. 2. Nitella mucronata 24 Stunden in Salzsäure; die Zelle a hatte einen nicht mehr ganz normalen Inhalt, der Plasmaschlauch war zusammengefallen, aber die Chlorophyllkörper in Farbe und Form erhalten. In ihr fehlt trotzdem das Hypochlorin, während es in b wie immer vorhanden ist. S 310.

Fig. 3. Spirogyra spec. längere Zeit im Zimmer cultivirt. 24 Stunden mit Salzsäure. Die Zelle zeigt in ihren Windungen Amylumheerde (farblos), Fetttropfen, die etwas Farbstoff aufgenommen haben und damit gelb erscheinen, und Hypochlorinschuppen an den Amylumheerden. — S. 359.

Fig. 4. Eine Zelle derselben Spirogyre im concentrirten Sonnenbilde insolirt, dann mit Jod in Jodkalium behandelt und, so weit nöthig, ausgewaschen. Die Zelle zeigt die Stärke (in den Amylumheerden) und die Fetttropfen erhalten, das Hypochlorin und der Chlorophyllfarbstoff verschwunden. S. 359.

Fig. 5 und 6. Gewebe aus der Plumula eines Finsterkeimlings von Pisum sativum, nachdem er 20 bis 24 Stunden dem Lichte ausgesetzt gewesen war, mit Salzsäure behandelt. S. 400.

Fig. 7. Gewebe aus der Plumula eines Finsterkeimlinges von Cannabis sativ. Nachdem derselbe 20–24 Stunden im Lichte gestanden hatte, mit Salzsäure behandelt. S. 400.

Fig. 8. Gewebe eines 10 Tage alten Finsterkeimlinges von Cannabis sat., der 30 Stunden voll belichtet war; aus der Plumula. 48 Stunden in Salzsäure. Hypochlorin reichlich vorhanden. S. 400—402.

Fig. 9. Gewebe eines 10 Tage alten Finsterkeimlinges von Cannabis sat. aus der Plumula, der 45 Stunden im Halbdunkel gestanden hatte und ebenfalls stark ergrünt war, 48 Stunden in Salzsäure. Hypochlorin fehlt. S. 400—402.

Fig. 10. Gewebe aus der Plumula eines 9 Tage alten Finsterkeimlinges von Pisum sativum, 30 Stunden voll belichtet bei hellem Tageslicht, mit Salzsäure behandelt, zeigt reichlich Hypochlorin. S. 400—402.

Fig. 11. Gewebe aus der Plumula eines 10 Tage alten Finsterkeimlinges von Pisum sativum, 45 Stunden im Halbdunkel cultivirt, dann mit Salzsäure behandelt; Hypochlorin fehlt. S. 400—402.

Taf. XXIV. Structur der Chlorophyllkörper. Hypochlorin in Keimlingen, in insolirten Nitellen, in phanerogamischen Parasiten. Structur der Spirogyren.

Fig. 1. Nitella flexilis. Blatt. Die beiden Endsegmente im concentrirten Sonnenbilde in kohlensäurefreier Luft insolirt. a im grünen, b im blauen Licht.

Fig. 2. Insolirte Stelle der einen Endzelle stark vergrössert.

Fig. 3. Stück der insolirten Stelle der anderen Endzelle nach Behandlung

mit Salzsäure. In den insolirten Chlorophyllkörpern ist mit dem Chlorophyllfarbstoff auch das Hypochlorin verschwunden. S. 360.

Fig. 4. Spirogyra; Verlauf der vom Centralplasma ausgehenden Stränge und Mündung in die Amylumheerde. S. 304.

Fig. 5—9. Chlorophyllkörper verschiedener Pflanzen nach verschiedener Behandlung (mit Immersionslinsen bei genügender Vergrösserung von ca. $\frac{1400}{1}$ betrachtet).

Fig. 5 von Vallisneria in Alcohol fast völlig entfärbt.

Fig. 6 von Selaginella erst durch Alkohol entfärbt, dann mit Anilin.

Fig. 7 von Nitella flexilis photochemisch im intensiven Lichte entfärbt.

Fig. 8 von Mnium. Erst mit Alcohol entfärbt, dann mit Jod behandelt und ausgewaschen. Die Stärkeeinschlüsse im Inneren des schwammigen Gerüstes sind noch blau.

Fig. 9 von Mnium. Erst mit Alcohol entfärbt, dann mit Anilin.

Fig. 10. Chlorophyllkörper von Viscum, mit Salzsäure behandelt; besitzen Hypochlorin.

Fig. 11. Gewebe aus den Cotyledonen eines Finsterkeimlinges von Cucumis sativus, der 2 Tage lang bei hellem Tageslicht voll belichtet war; mit Salzsäure behandelt; besitzt reichlich Hypochlorin. S. 400.

Fig. 12. Gewebe aus den Cotyledonen eines Finsterkeimlings von Cucumis sativus, der 3 Tage im Halbdunkel (unter weissem Papier) im Tageslichte gestanden hatte, mit Salzsäure behandelt; Hypochlorin fehlt. S. 402.

Taf. XXV. Structur der Chlorophyllkörper. Scheidung des Gerüstes von Farbstoff und Oel.

Zu S. 290 ff. u. 311 ff.

Fig. 1. Chlorophyllkörper von Vallisneria spir. Das Gewebe 6 Tage in Salzsäure (1 : 4) dann 8 Stunden im Dampf von siedendem Wasser. S. 290.

Fig. 2. Chlorophyllkörper von Vallisneria. Das Gewebe 1 Stunde im Dampf von siedendem Wasser.

Fig. 3. Chlorophyllkörper von Vallisneria. Das Gewebe 1 Stunde in Dampf von siedendem Wasser. Durch Quellung schon geborstene Chlorophyllkörper.

Fig. 4. Chlorophyllkörper von Elodea. Das Gewebe 1 Stunde in Dampf von siedendem Wasser.

Fig. 5. Chlorophyllkörper von Callitriche. Das Gewebe 5 Minuten in Wasser gekocht.

Fig. 6. Chlorophyllkörper von Mnium. Das Gewebe 5 Minuten in Wasser gekocht. Chlorophyllkörper schon geborsten.

Fig. 7. Chlorophyllkörper von Vallisneria. Aus frischem mit Salzsäure behandelten Gewebe.

Fig. 8 u. 9. Chlorophyllkörper von Vallisneria. Aus Gewebe, welches, nachdem es eine Stunde dem Dampf von siedendem Wasser ausgesetzt worden, mit Salzsäure behandelt wurde; in Fig. 9 sind die Chlorophyllkörper bereits geborsten.

Fig. 10, 11, 12. Chlorophyllkörper von Selaginella. Aus frischem mit Salzsäure behandelten Gewebe.

Fig. 13, 14. Chlorophyllkörper von Selaginella. Das Gewebe 1 Stunde im Dampf von siedendem Wasser.

Fig. 15. Chlorophyllkörper von Begonia. Das Gewebe 1 Stunde im Dampf von siedendem Wasser, nachher 5 Monate in Salzsäure.

Fig. 16. Chlorophyllkörper von Elodea. Das Gewebe 1 Stunde im Dampf von siedendem Wasser, nachher 5 Monate in Salzsäure.

Taf. XXVI. Zur Methode der Untersuchung.

Fig. 1. Die Spectra der verschiedenen zu den Versuchen benützten farbigen Sonnenbilder nach Wellenlängen getheilt; zum Vergleich das Spectrum der Sonne α und das einer grünen Zelle β.

Fig. 2. Photochemisches Mikroskop. S. 318.

Fig. 3. Mikroskopische Gaskammer. S. 320, 323.

Fig. 4 u. 5. Gefässe für die benutzten farbigen Flüssigkeiten. S. 319, 320

Fig. 6. Schematische Darstellung des Verhältnisses der Assimilation zur Athmung bei verschiedenen Intensitäten der Tageshelligkeit; directes Sonnenlicht = 100, ohne und mit Chlorophyllfarbstoff gedacht. S. 375, 376.

c d, die Athmungscurve der grünen Gewebe im Licht ohne Chlorophyll gedacht,

c f, die wirkliche Athmungscurve der grünen Gewebe in ihrem vermuthlichen Verlaufe.

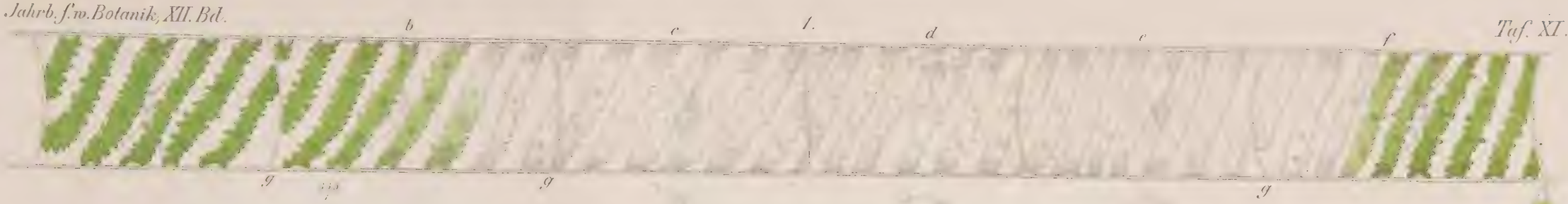
a b, die Assimilationscurve der grünen Gewebe ohne Chlorophyll gedacht in ihrem vermuthlichen Verlaufe,

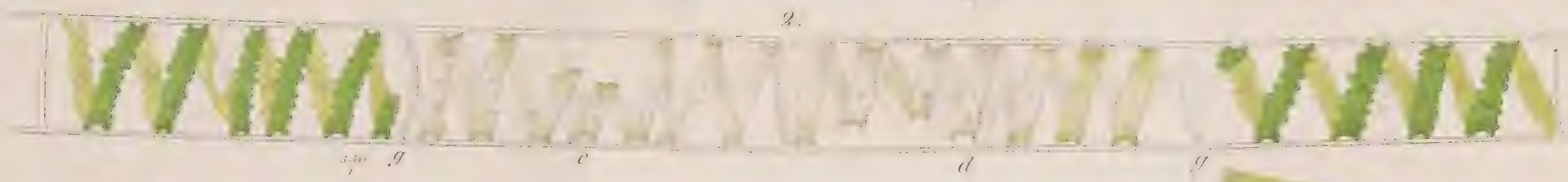
a g, die Assimilationscurve der grünen Gewebe mit Chlorophyll unter der Annahme, dass der Farbstoff die Assimilation noch etwa um 20 % herabsetzen würde.

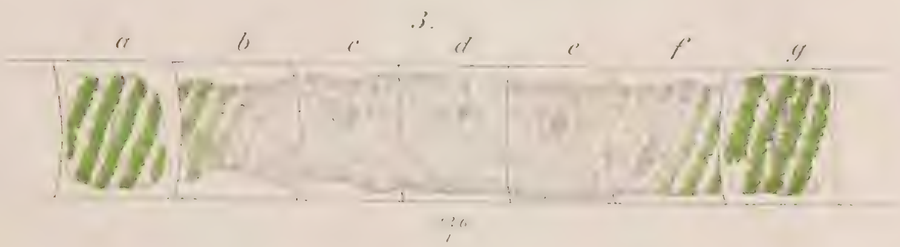
Fig. 7. Spiegel des Heliostaten.

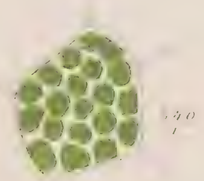
Fig. 8. Schirm vor dem Spiegel des Mikroskopes.

Druck von G. Bernstein in Berlin.



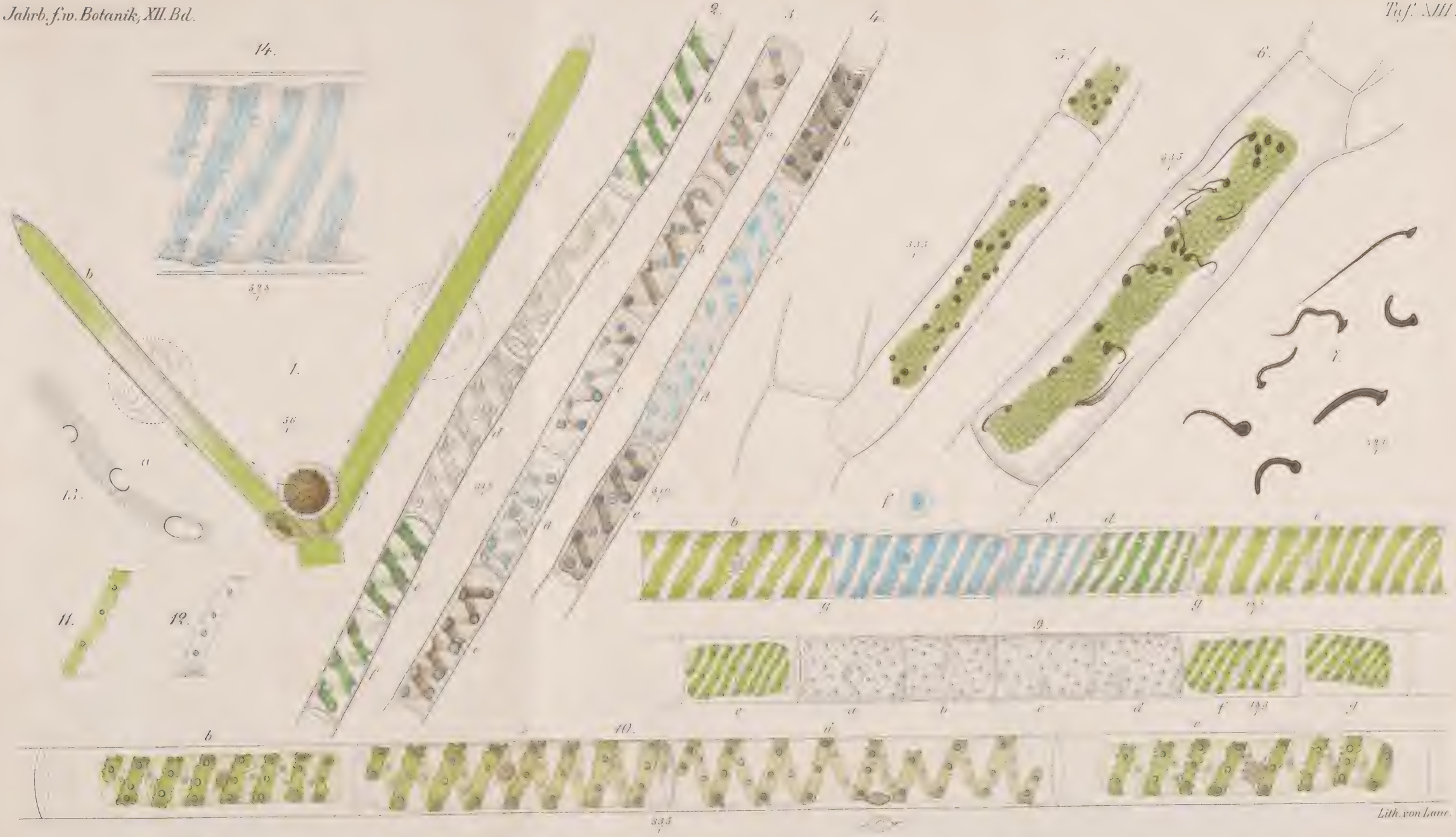






Lith. von Laue

Lith. von Lang


14.
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
13.
Lith. von Laue.

1. a b c d 240/1

2. d e 410/1

3. a b c d 183/1

4. 335/1

5. b c d e 183/1

6. 120/1

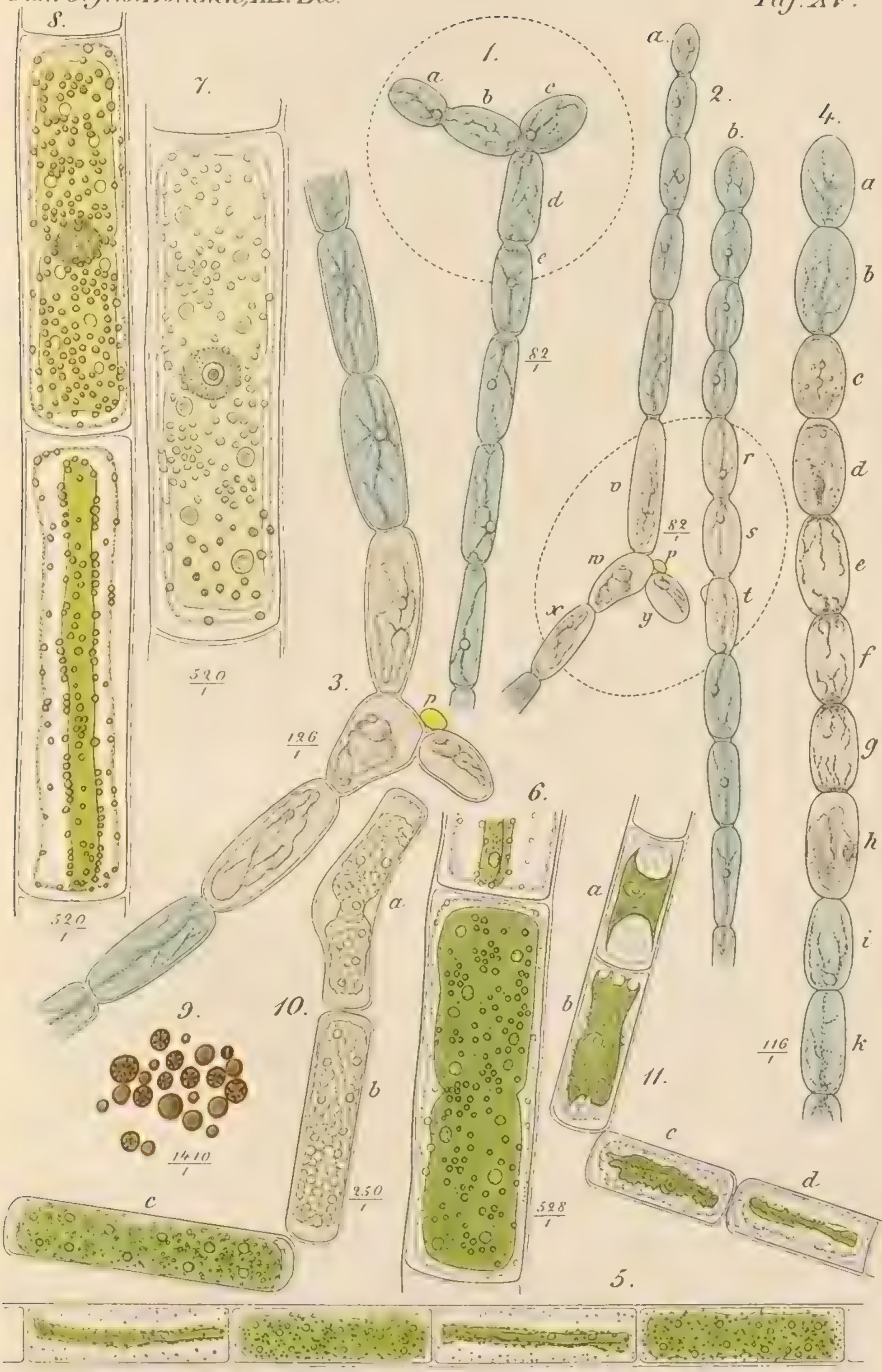
7. 120/1

8. 120/1

9. 528/1

10. d c b 335/1 b

Lith. von Lane.



Lith. von Laue.

1.

2.

5.

3.

6.

7.

120/1

4.

8.

120/1

9.

10.

11.

120/1

12.

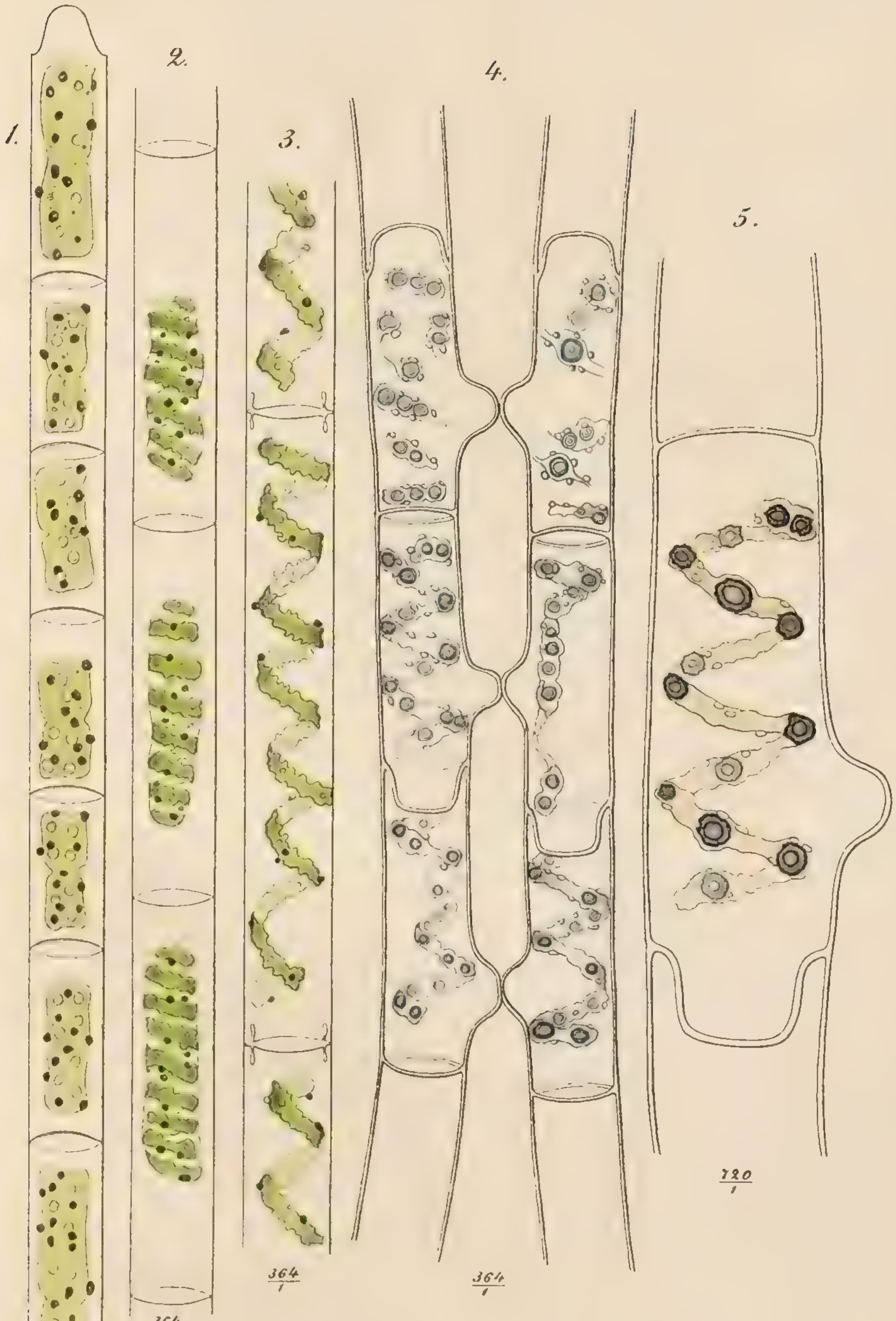
335/1

335/1

470/1

470/1

Lith. von Laue.

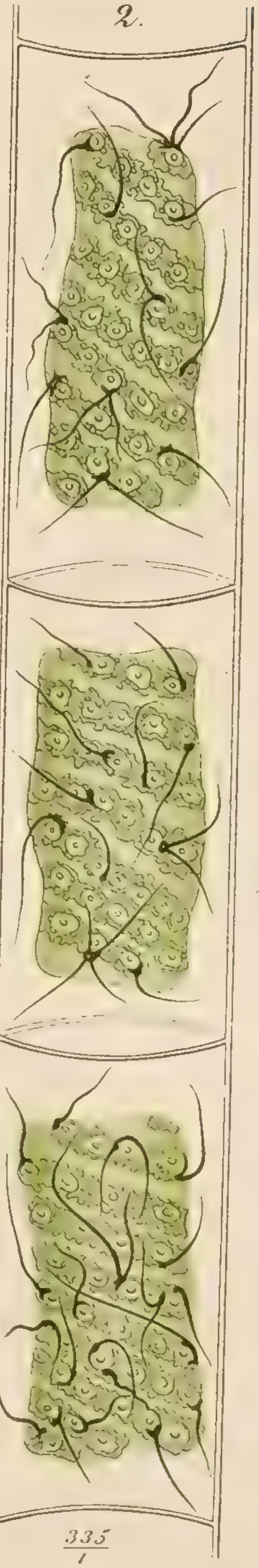


Lith. von Laue.

1.

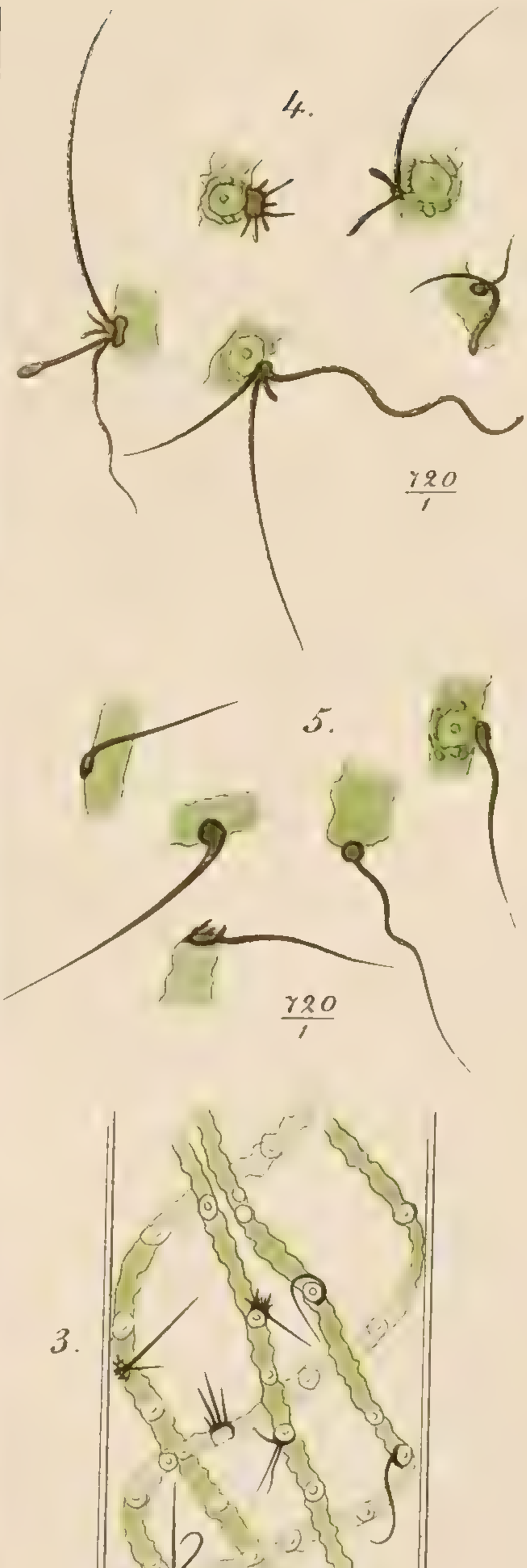
250/1

2.



335/1

4.

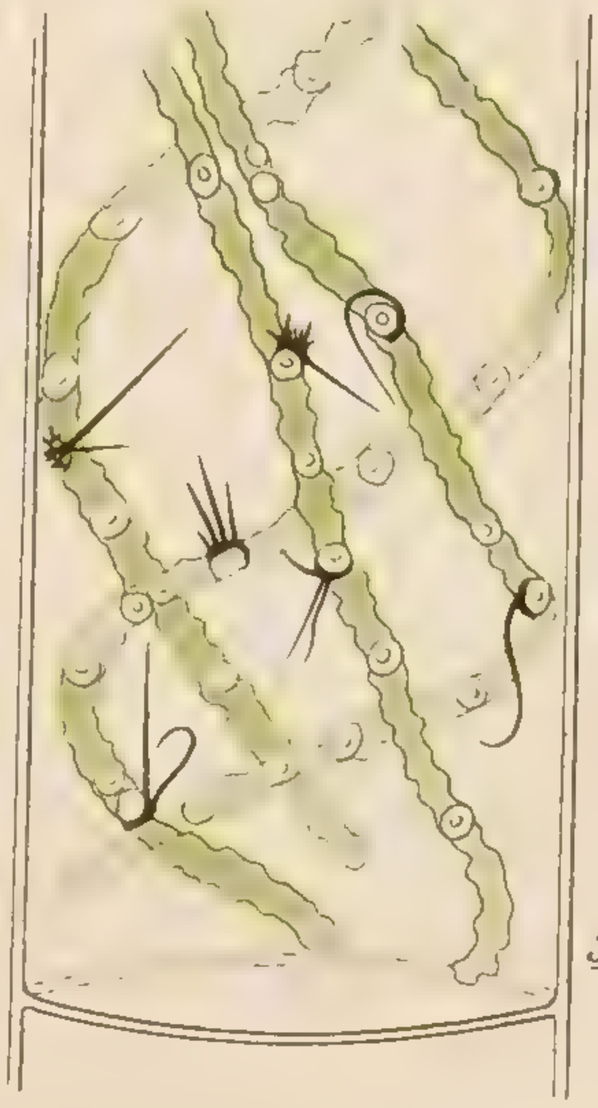


720/1

5.

720/1

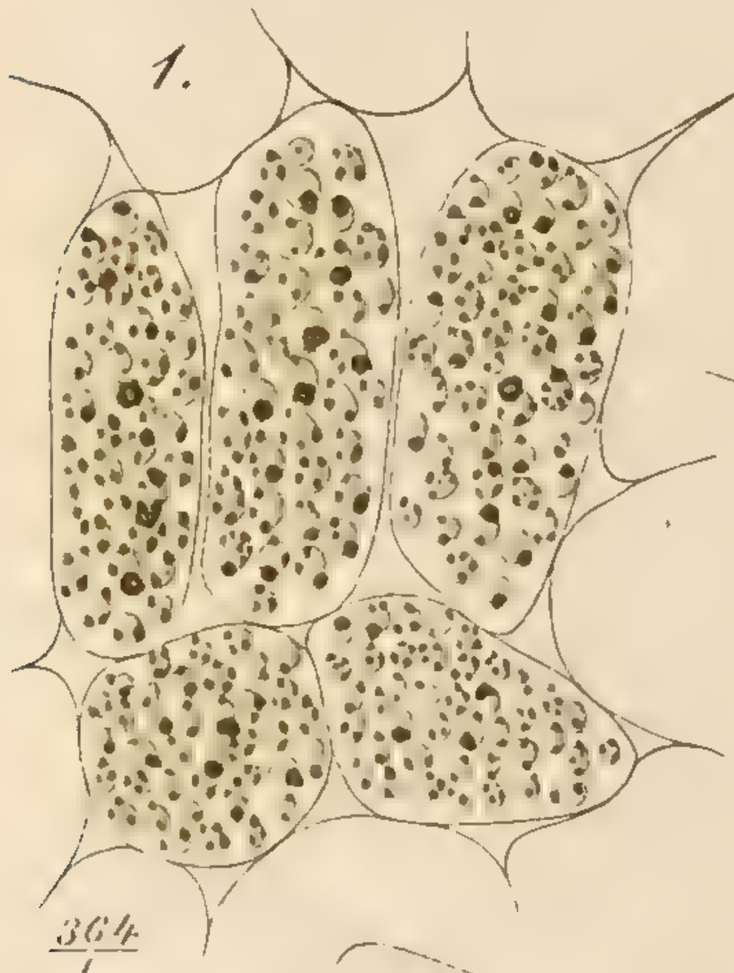
3.



360/1

Lith. von Laue.

1.



364/1

3.

364/1

2.

120/1

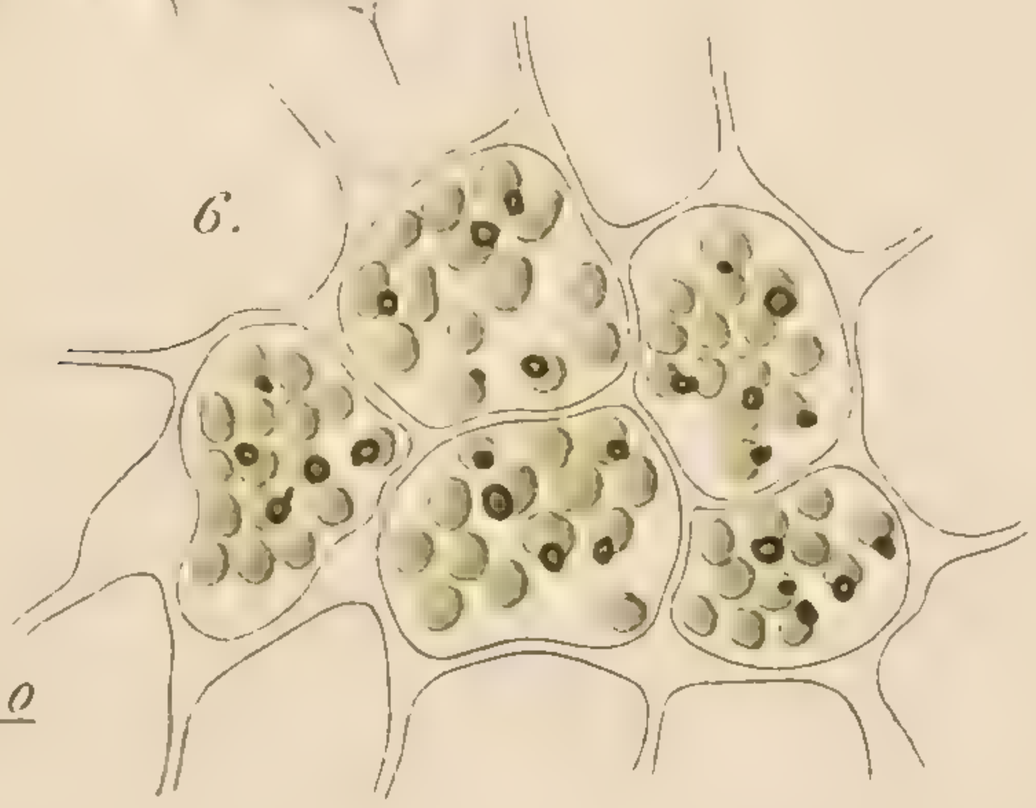
4.

120/1

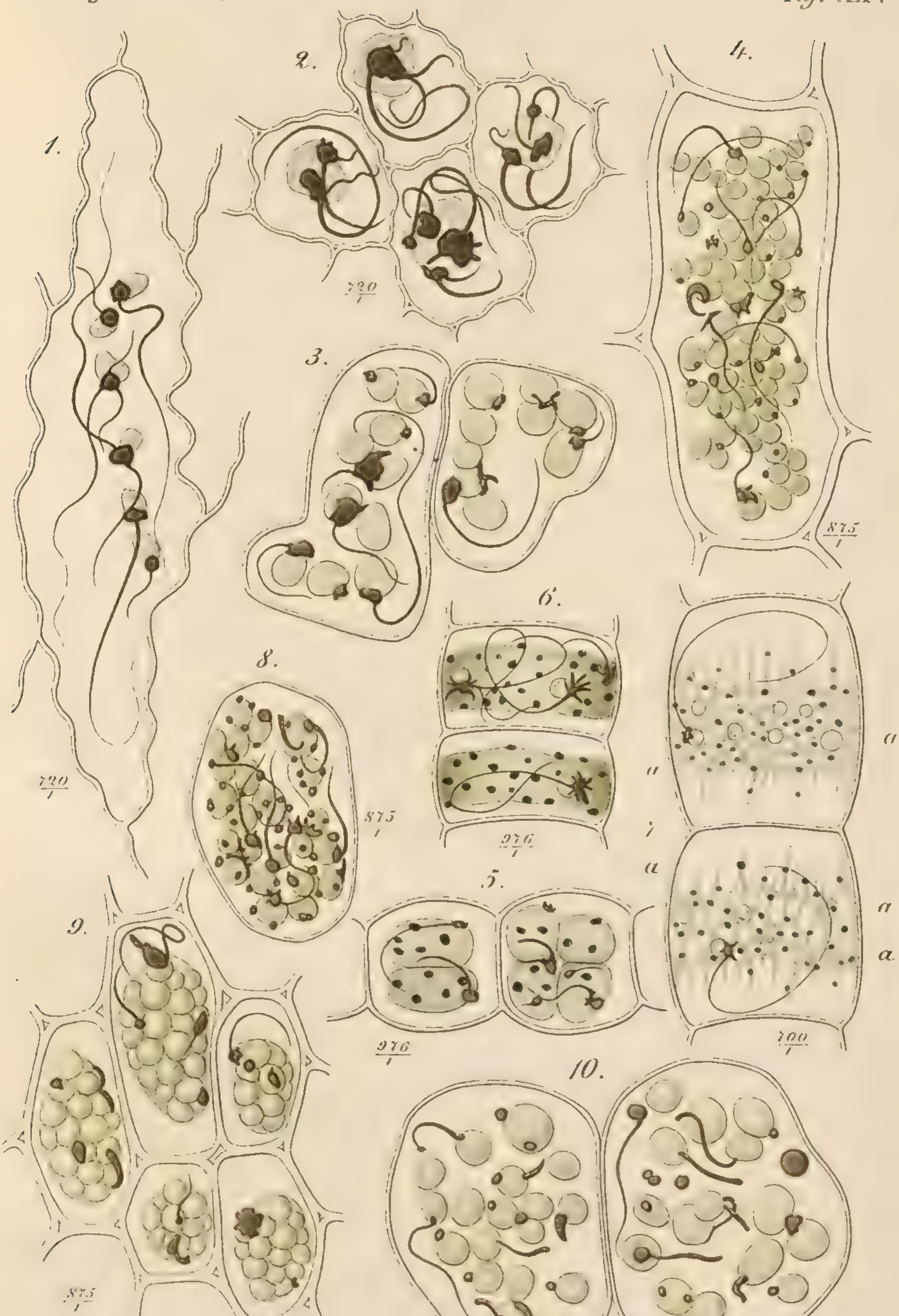
5.

120/1

6.



Lith. von Laue.

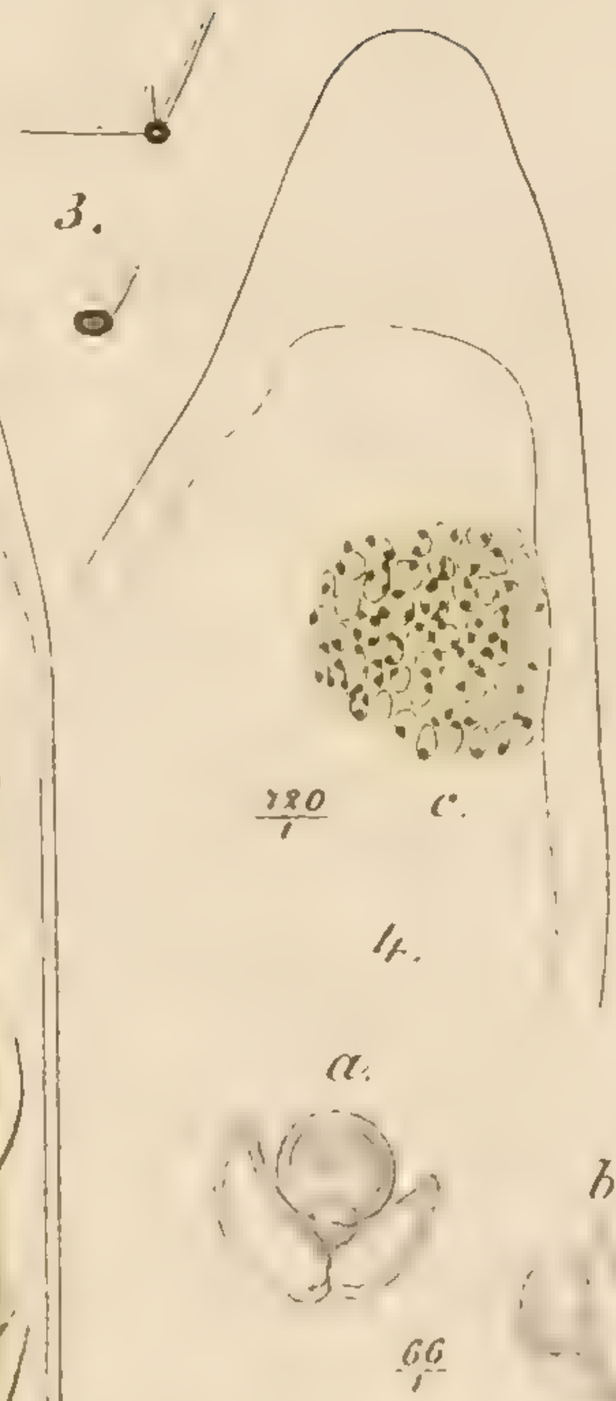


Lith. von Laue.

1.

528/1

3.



180/1

c.

4.

a.

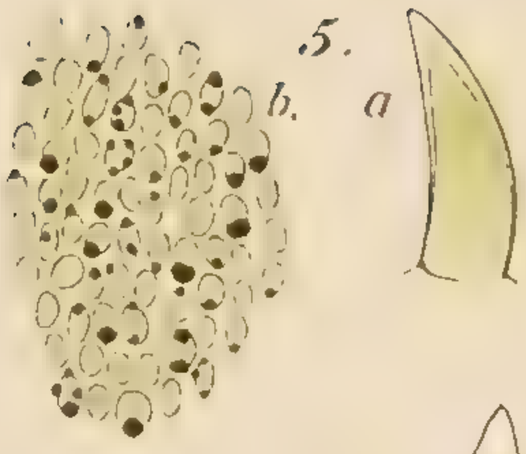
b.

66/1

5.

b.

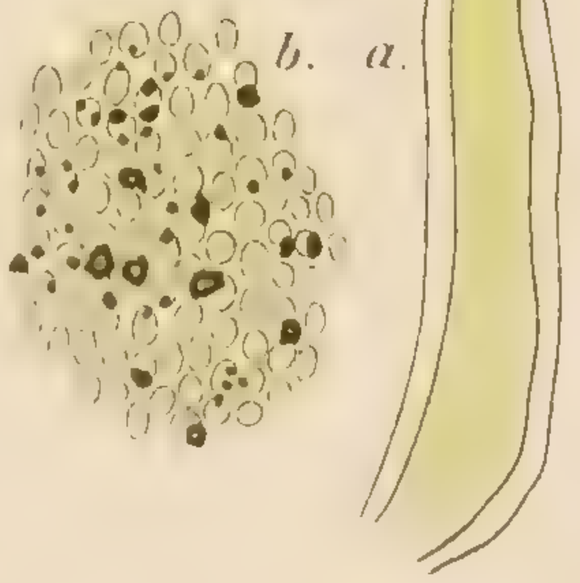
a



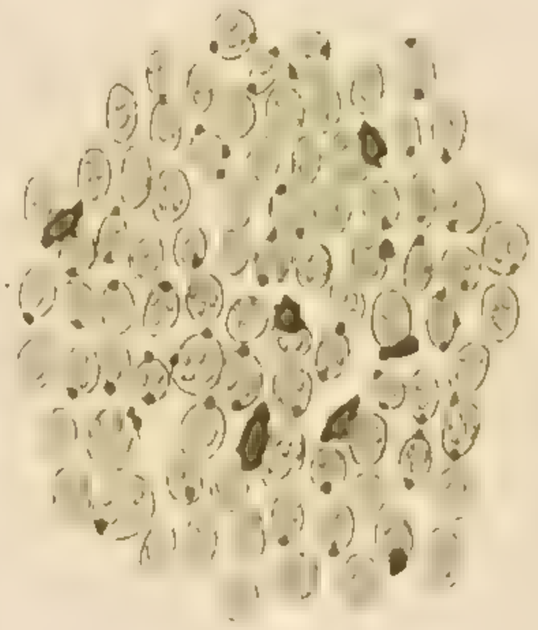
6.

b.

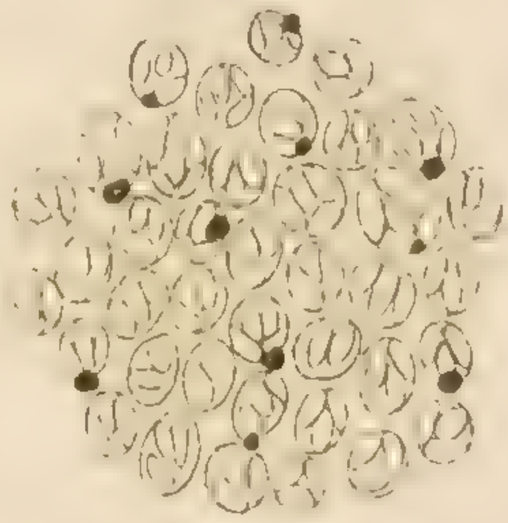
a.



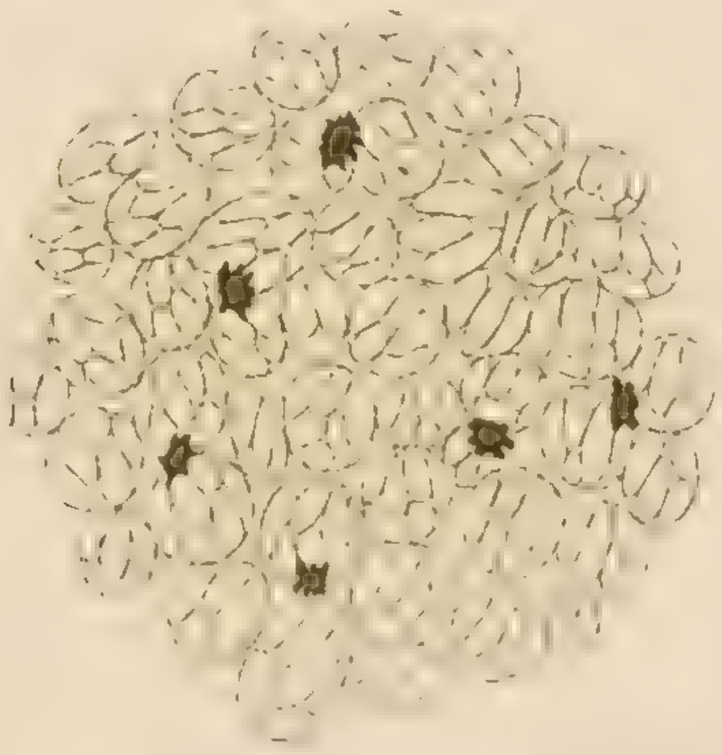
7.



8.



9.

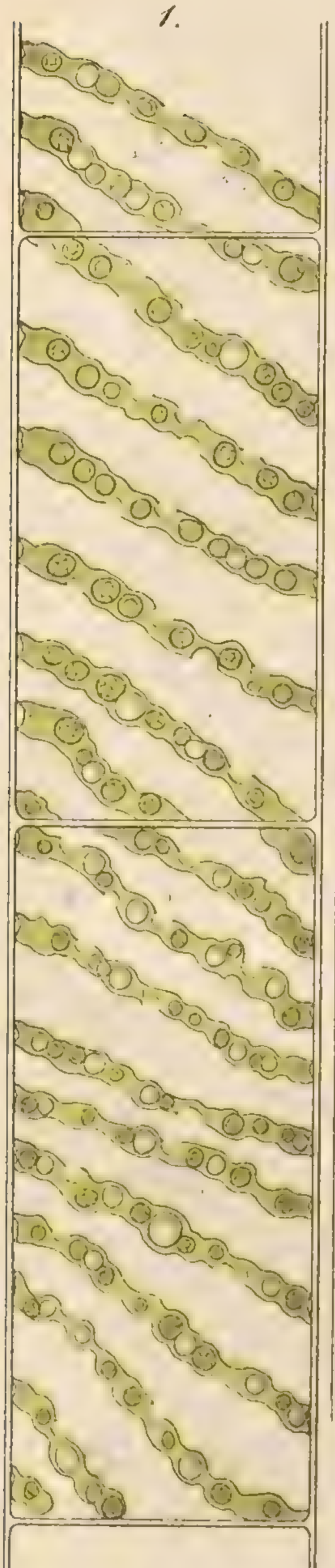


2.

120/1

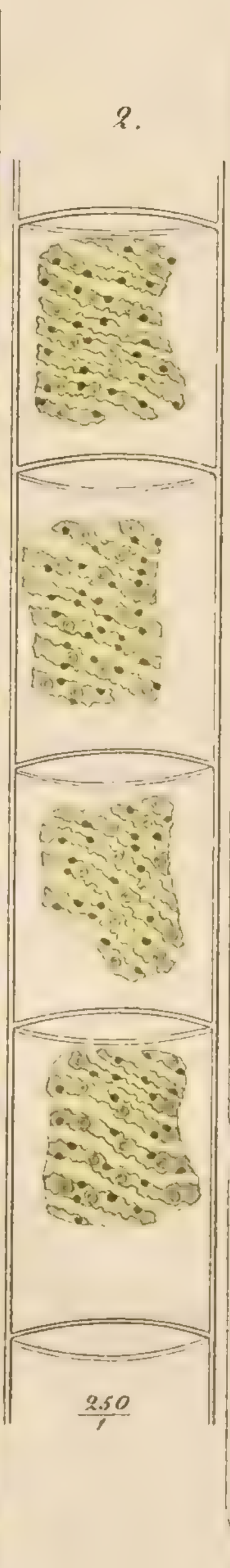
Lith. von Laue.

1.



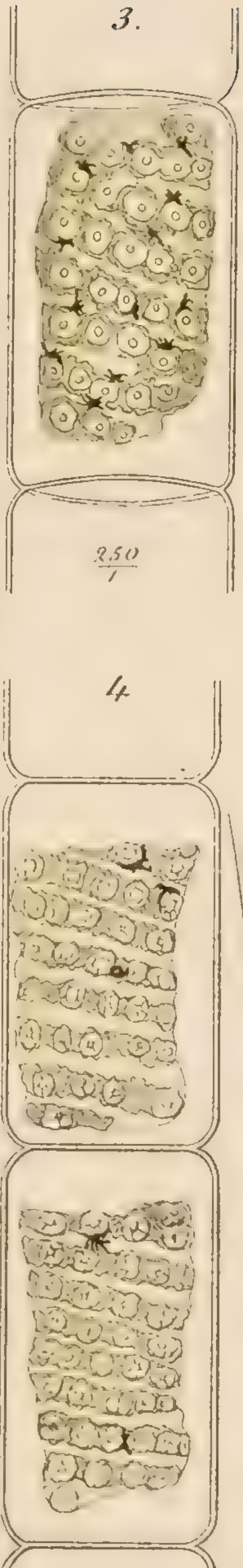
364/1

2.



250/1

3.

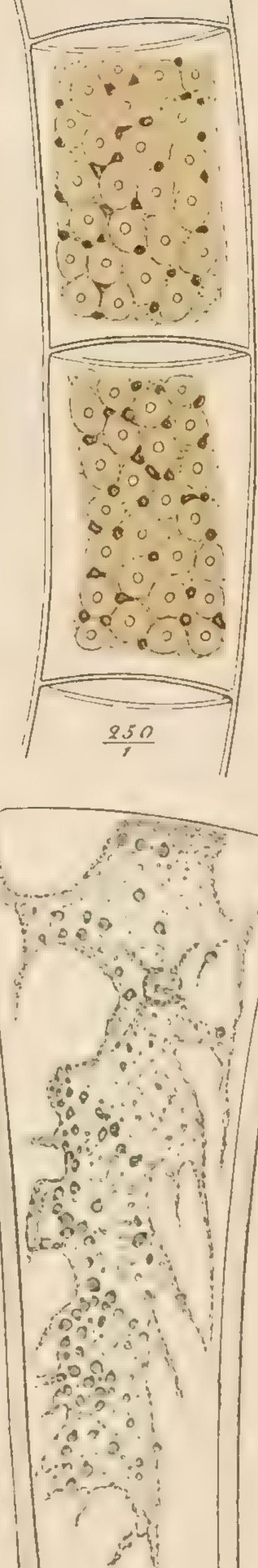


250/1

4

250/1

5.



250/1

6.

Lith. von Laue.

1.

a

3.

350/1

4.

a

185/1

250/1

5.

a. b.

c.

333/1

6.

720/1

7.

720/1

2.

a

b

8.

720/1

9.

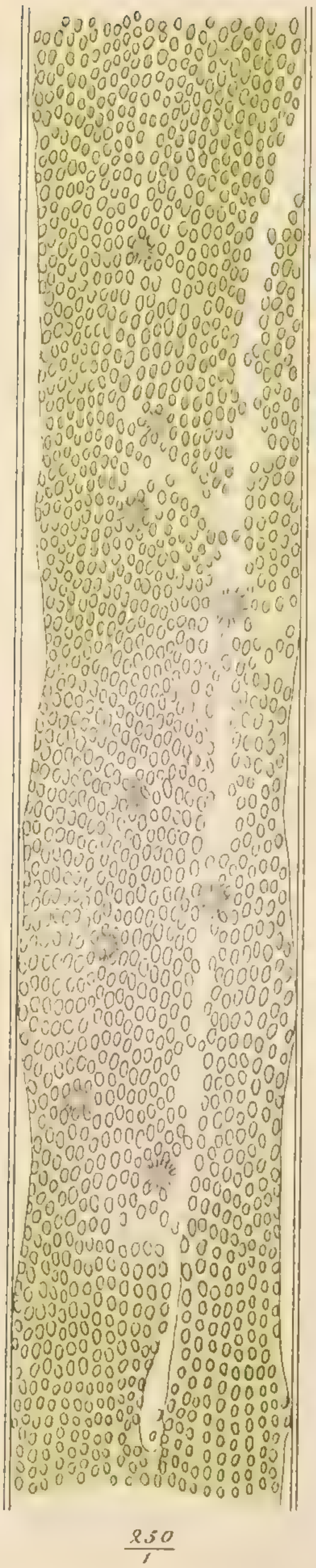
10.

11.

720/1

Lith. von Laue.

2.

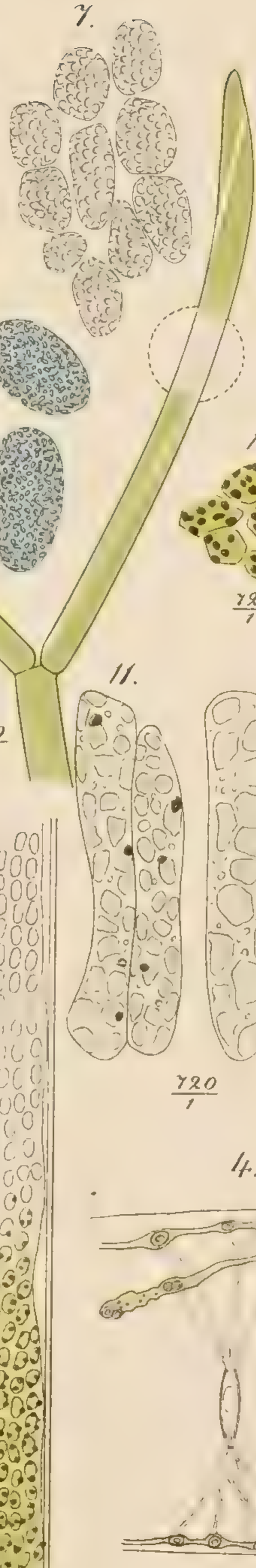


250/1

5.

1410/1

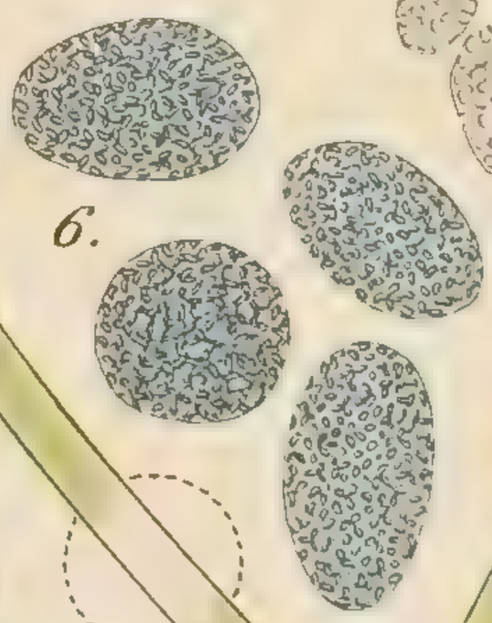
7.



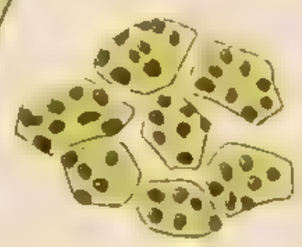
9.

1410/1

6.



10.



720/1

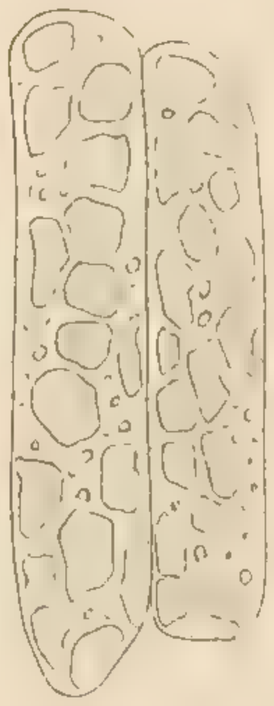
8.

1.

30/1

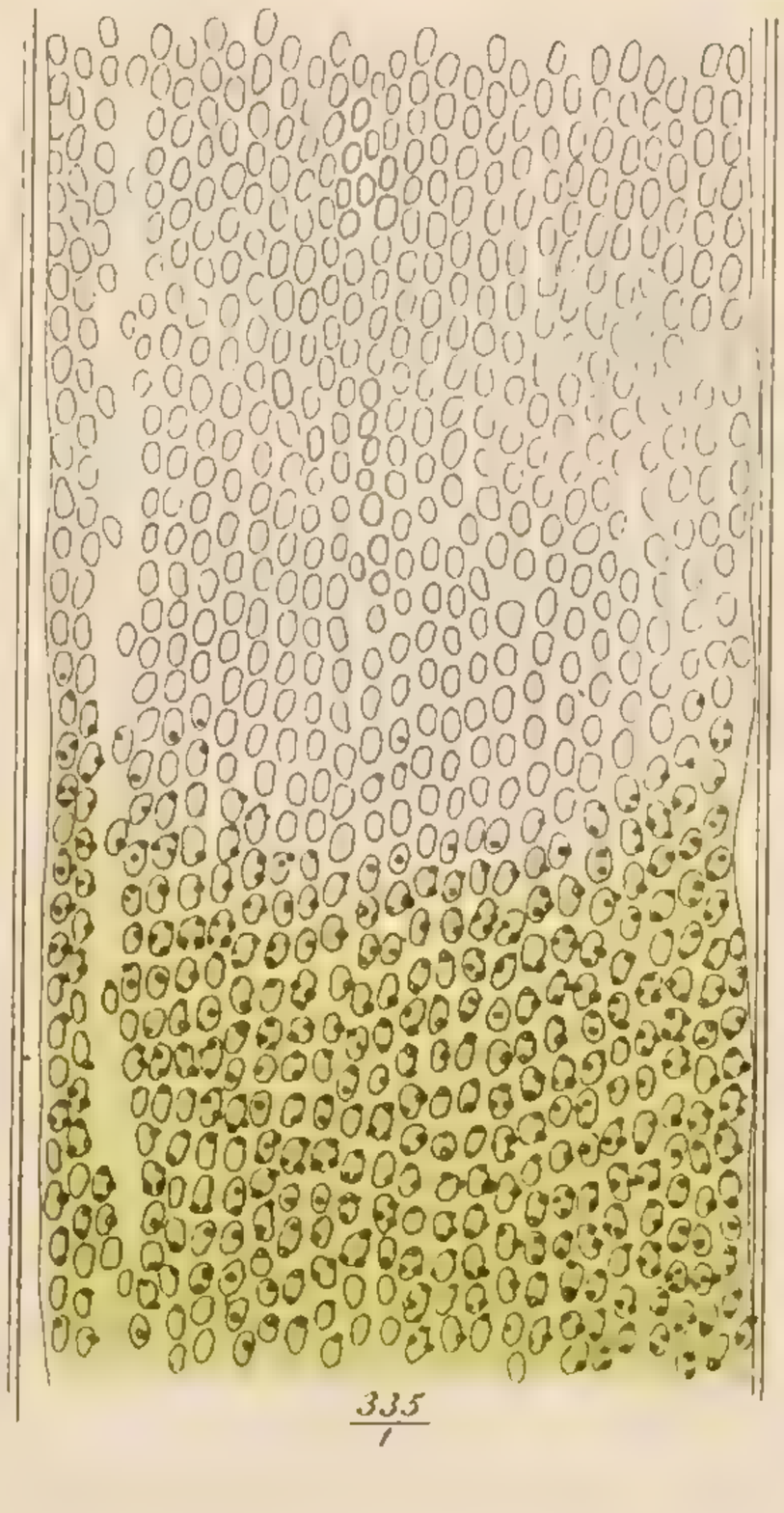
11.

12.



720/1

3.



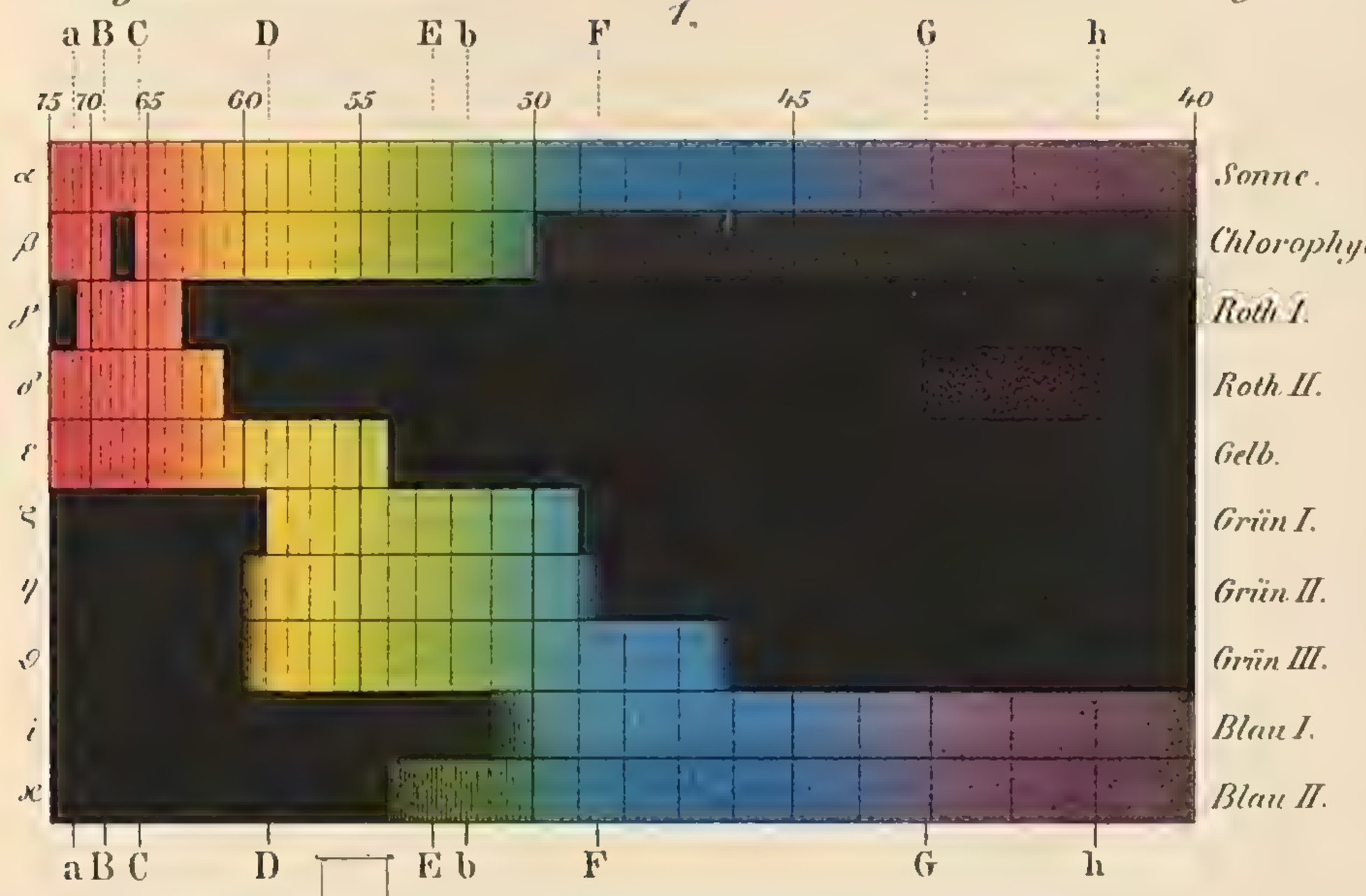
335/1

4.

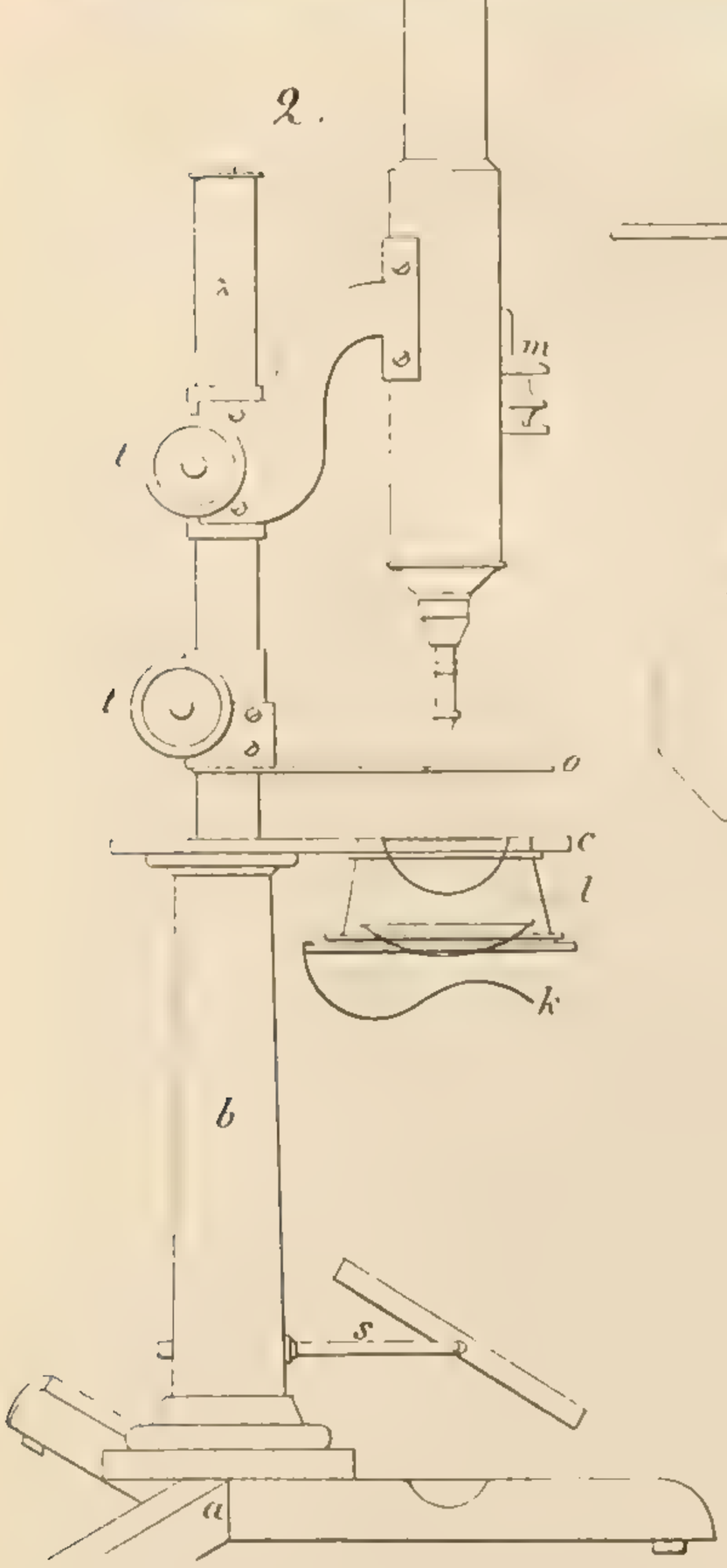
Lith. von Lane.

Lith. von Lauc

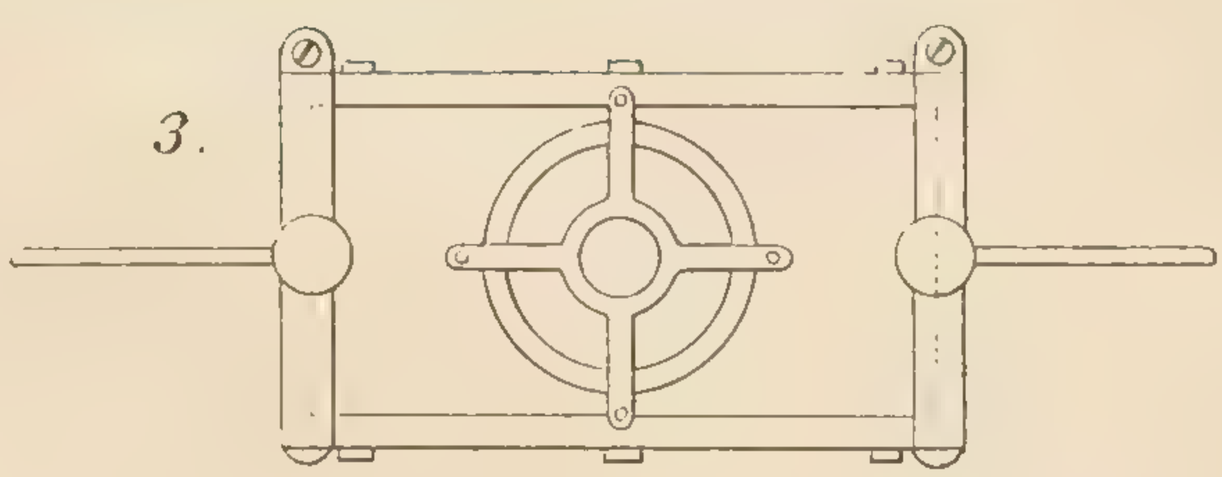
1.



2.

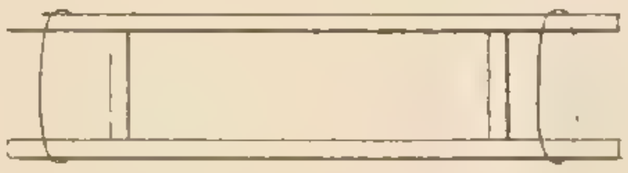


3.

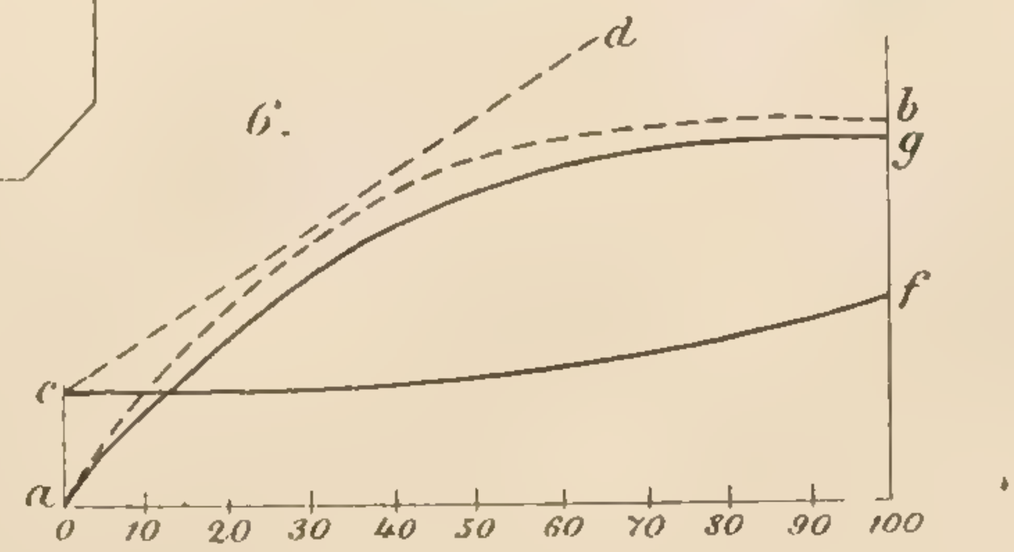


5.

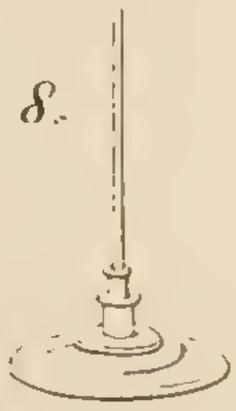
4.



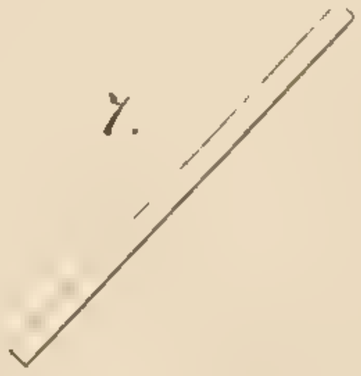
6.



8.



7.



Lith. von Laue.

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Pringsheim, N.

Ueber Lichtwirkung und Chlorophyllfunction in der Pflanze Hierzu Tafel XI - XXVI. Sep.-Abdr. aus Pringsheim's Jahrbüchern für wissenschaftl. Botanik. Band XII, S. 288 - 437, 16 Taff

Berlin 1881

Phyt. 534 nc
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11883046-9